

18 870115
25

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE INGENIERIA



TESIS CON
FALLA DE CR.GEN

ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
THELMA LILIAN PACHECO GALLEGOS
GUADALAJARA, JAL., 1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	PAGINA:
I INTRODUCCION.	1
II GENERALIDADES.	7
Definición de Pavimento.	8
Clasificación de los Pavimentos.	10
Funciones de los Pavimentos.	11
III FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.	14
Carpeta.	15
Base.	25
Sub-base.	32
Sub-rasante.	44
Terracerías.	47
IV FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS COMPONENTES DE UN PAVIMENTO RIGIDO.	49
Losa.	50
Sub-base.	51
Criterios de Diseño para un Pavimento Rigido.	55
V TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.	60
Generalidades.	61
Agrietamiento (Falla tipo "Piel de Cocodrilo").	67

Deformación Permanente en la Superficie del Pavimento (Surcos).	68
Fallas por Cortante.	69
Agrietamiento Longitudinal.	69
Afloramiento.	70
Consolidación del Terreno de Cimentación.	71
VI TIPOS DE FALLAS MAS COMUNES EN PAVIMENTOS RIGIDOS.	75
Durabilidad del Concreto.	77
Escameo.	77
Fracturas por Contracción.	78
Congelado Barras Tipo "Clavija". (Clavijas Congeladas).	78
Fracturas por Abombamiento.	79
Soplado y Bombeado.	80
Roturas Estructurales.	80
Voladuras.	81
Mal Funcionamiento de Juntas.	81
Movimientos del Terreno de Cimentación o de Espesores.	82
VII TECNICAS DE CONSTRUCCION O REFUERZO.	88
Generalidades.	89
Condiciones Superficiales del Pavimento Flexible.	91

Ejemplo (Localización).	92
Prueba de Deflexión Método Benkelman.	97
Análisis de Tránsito.	122
Gráficas del Instituto del Asfalto. (Factores de Equivalencia).	124
Cálculo del Espesor Requerido de Carpeta Asfáltica.	125
VIII CONCLUSIONES.	130
BIBLIOGRAFIA.	136
REFERENCIAS.	138
ANEXO 1.	143
ANEXO 2.	151
ANEXO 3.	157

CAPITULO I

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El trabajo de la ejecución de obras de pavimentación que garantice la posibilidad de tránsito de vehículos de transporte, es -en realidad- tan antiguo como el hombre mismo.

Las civilizaciones clásicas del Medio Oriente, Egipto, China, etc., y los imperios Inca y Maya, dejaron evidencias históricas de mucho más interés respecto a redes incipientes de caminos con un grado de desarrollo sorprendente. El imperio Romano ofrece quizá el primer ejemplo en el sentido moderno de cómo una red caminera bien construida y conservada, ayuda a la conquista y sostenimiento de un dominio universal.

Sin embargo, el verdadero auge del pavimento, en el sentido actual de la palabra, ha tenido lugar con la aparición del automóvil.

Las fuertes cargas actuales, su velocidad de tránsito, el número de repeticiones, etc., hicieron en la actualidad que las técnicas de construcción de pavimentos hayan sufrido una evolución muy rápida, con una definida tendencia -infortunadamente no siempre acompañada por el éxito- a adquirir cada vez mejores bases teóricas que refuercen, justifiquen

y permitan aplicar con buen criterio, el ya muy grande conocimiento observacional que a la fecha se va teniendo a este respecto. Ha de hacerse notar que la inversión nacional en obras de pavimentación, constituye para cualquier país un renglón fundamental que justifica cualquier inversión realizada en búsqueda de un mejoramiento específico.

Como parte importante de este estudio, entenderemos por pavimento:

Un conjunto de capas de material tratado que sirve como superficie de rodamiento, en la cual se puede transitar en forma rápida, segura y cómoda; capaz de soportar los esfuerzos de los vehículos y transmitirlos adecuadamente a las terracerías; así como ser resistente a los efectos abrasivos del tránsito, del intemperismo o cualquier otro agente perjudicial.

Así mismo tomaremos en cuenta como una clasificación de pavimento a la siguiente:

PAVIMENTO FLEXIBLE

PAVIMENTO RIGIDO

Y actualmente el llamado SEMIRIGIDO, que es esencialmente un pavimento flexible a cuya base se ha dado una

rigidez alta por la adición de cemento o asfalto.

En el Capítulo II se da una explicación más amplia y el porqué de esta clasificación convencional, pero muy aceptada; también se hace mención de las funciones de los pavimentos desde el punto de vista funcional como estructural.

Decimos que un pavimento flexible está formado por varias capas: la carpeta, la base, la sub-base, sub-rasante y la terracería; cada una desempeña una función importante dentro de este conjunto, desde la primera, que es la superficie de rodamiento hasta la última que juega un papel fundamental en el comportamiento y espesor requerido de un pavimento flexible.

De igual manera, los pavimentos rígidos tienen sus elementos componentes, como son: la LOSA, que tiene una función estructural de soportar y transmitir -en nivel adecuado- los esfuerzos que se le apliquen y la BASE cuyas funciones son análogas a las de una sub-base en un pavimento flexible y sirve también para proporcionar una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa.

En los Capítulos III y IV, de este estudio, se da una amplia información sobre cada una de las funciones de los

elementos de un pavimento flexible, así como de un pavimento rígido.

La descripción y discusión de las fallas de los pavimentos, no es una tarea sencilla; su variedad y diferencia de matices bastarían para que no lo fuera. En pavimentos es muy común que la palabra "falla" se utilice tanto para verdaderos colapsos o desastres locales, como para describir deterioros simples o lugares de posible evolución futura desfavorable. El problema es más complicado aún si se comprende que el concepto de deterioro o falla está asociado a nivel de servicio.

El índice de servicio es un concepto propuesto por la AASHO, que se basa en el promedio de calificaciones que entre 1 y 5, adjudica a un determinado pavimento, a un grupo de usuarios, al recorrerlo en condiciones normales. Cuando una obra se pone a funcionar recién construida, debe tener una calificación entre 4.5 y 5, la cual va disminuyendo conforme pasa el tiempo; cuando el índice de servicio llega a ser de 2.5 será preciso arreglar el pavimento o reconstruirlo.

Las fallas de los pavimentos flexibles, como se verá en el Capítulo V, serán clasificadas en tres grupos fundamentales, de origen bien diferenciado o fallas por insuficien-

cia estructural, fallas por defectos constructivos y fallas por fatiga.

Se hará mención especial en el Capítulo VI a los tipos de fallas más comunes en los pavimentos rígidos; estas pueden deberse a dos causas principales: La primera se refiere a las deficiencias de la propia losa y comprende por un lado, defectos del concreto propiamente dicho, tales como utilización de materiales y agregados no adecuados, etc.; y por otro lado, defectos de construcción o insuficiencia estructural en la losa.

La otra causa principal de falla en los pavimentos, rígido, se refiere al inadecuado comportamiento estructural del conjunto Losa-Sub-base-Sub-rasante y aun: Terracería y Terreno de Cimentación; de este tipo son las fallas por bombeo, distorsión general y otras también importantes, que como se dijo anteriormente, serán descritas en el Capítulo VI.

En muchos países se presenta con frecuencia la necesidad de analizar el estado de un pavimento construido anteriormente, a fin de decidir sobre la necesidad de repararlo y sobre el monto de la reparación, aunque presente en todas partes, este es un problema común en las redes de transporte de los países en vías de desarrollo, pues en ellos se dan

las condiciones de rápida expansión del tránsito, insuficiencia presupuestal en el momento de la construcción y falta de la adecuada conservación que contribuyen a generarlos.

En este estudio sobre pavimentos existentes con fines de reconstrucción y/o refuerzo, se presenta como método: LA VIGA BENKELMAN, la cual tiene un funcionamiento sencillo y no costoso, lo cual permite su uso, la ventaja de este método que mide la deflexión mediante una carga conocida, es que es usado en pavimentos flexibles como en pavimentos rígidos.

El Capítulo VII presenta el funcionamiento, así como los pasos a seguir para obtener las deflexiones mediante gráficas, formatos que se utilizan en este tipo de estudios.

CAPITULO II

GENERALIDADES.

DEFINICION DE PAVIMENTO.

CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS.

FUNCIONES DE UN PAVIMENTO.

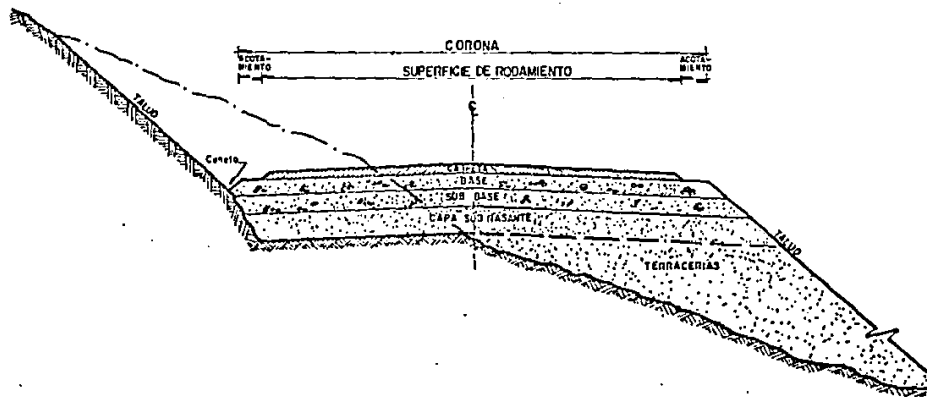
2.1. DEFINICION DE PAVIMENTO.

Conjunto de capas de material tratado, que sirve como superficie de rodamiento, en el cual se puede transitar en forma rápida, segura y cómoda; capaz de soportar los esfuerzos de los vehículos y transmitirlos adecuadamente a las terracerías, así como ser resistentes a los efectos abrasivos del tránsito, del intemperismo o cualquier otro agente perjudicial.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial, que hace posible el tránsito expedito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstos por el proyecto.

La estructura o disposición de los elementos que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal suerte que puede estar formado por una sola capa o más comúnmente por varias y a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, sometidos a muy diversos tratamientos.

Su superficie de rodamiento puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico, o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactados.



**SECCION TRANSVERSAL TÍPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE
EN UNA SECCION EN BALCON**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON
FINES DE RECONSTRUCCIÓN O REFUERZO
Thelma Lilián Pacheco Gallegos

2.2. CLASIFICACION DE LOS PAVIMENTOS.

Con fines fundamentales prácticos, los pavimentos se han dividido en:

PAVIMENTOS FLEXIBLES.

PAVIMENTOS RIGIDOS

PAVIMENTOS SEMIRIGIDOS (FLEXIBLES).

PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se considerará un pavimento flexible al que su última capa corresponda a una mezcla de suelo o de agregado con asfalto. (Puede ser un agregado artificial).

PAVIMENTO RIGIDO.

Es aquel cuyo elemento fundamental resistente, sea una losa de concreto hidráulico con un recubrimiento bituminoso o sin él, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa de material seleccionado. (Grava y arena).

PAVIMENTO SEMIRIGIDO.

En algunas ocasiones puede convenir como un refinamiento posterior, utilizar en las capas de pavimento, materiales

cuya resistencia a la tensión sea considerable, añadiendo a los materiales térreos, porcentajes apropiados de un aglutinante, como el cemento, el asfalto o la cal; las capas así tratadas ven correspondientemente aumentada su capacidad de distribución de esfuerzos, con lo que pueden tenerse grandes ahorros en el espesor.

De hecho, estas soluciones a base de capas semirígidas de suelo-cemento, suelo-asfalto, etc., constituyen un tercer tipo de pavimentos cuyo uso parece extenderse continuamente, sin embargo, la tónica común suele encasillar estos pavimentos SEMIRIGIDOS en el grupo de los pavimentos flexibles.

2.3. FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS.

Las funciones de un pavimento, desde el punto de vista estructural, son las siguientes:

a). Tener una resistencia y un espesor tal, tanto para soportar las cargas de los vehículos como transmitir adecuadamente los esfuerzos a las terracerías, de modo que estas no se deformen de manera perjudicial.

b). Prevenir la penetración o acumulación de agua en el interior.

c). Tener una capa superior que sea adecuada para el rodamiento y sea resistente tanto a las cargas de los vehículos como a los agentes del intemperismo.

Debe poseer la resistencia adecuada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito, sin falla y con deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tráfico en buenas condiciones.

Las características de la resistencia y deformabilidad se satisfacen con una capa de material que se encargue de distribuir los esfuerzos de tal modo que a la sub-rasante lleguen en niveles tolerables que no produzcan falla ni asentamientos. Esta capa debe estar formada por materiales friccionantes que son los más adecuados para llenar esta función estructural, así mismo es la base en pavimentos flexibles.

La losa de concreto en pavimentos rígidos cumple la misma función estructural.

Funciones de un pavimento desde el punto de vista funcional:

a). Proporcionar un tránsito de vehículos rápido,

seguro y cómodo.

b). Tener una superficie de rodamiento uniforme.

c). Ser antiderrapante (textura adecuada), que no produzca vibraciones ni que sea muy lisa.

d). Que sea visible (tener un color adecuado).

La función de un pavimento es servir de soporte de superficie de rodamiento, para que se cumpla ésta debe ser rápida, segura y cómoda; para esto se requiere que la superficie de rodamiento sea uniforme; es decir, que no tenga una textura que no sea ni muy lisa ni muy abierta; en el caso de que la textura sea muy lisa, puede producir derrapamientos, porque el coeficiente de fricción es muy bajo; en el caso de que la textura sea muy abierta, va a existir un alto coeficiente de fricción; pero va a ser molesto para el usuario, porque va a producir vibraciones en el vehículo.

CAPITULO III

**FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DE UN
PAVIMENTO FLEXIBLE**

3.1. CARPETA.

FUNCIONES. La carpeta debe proporcionar en el pavimento flexible una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la ampliación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frenaje, los producidos por las fuerzas centrífugas, los impactos, etc.

Debe tener una textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo; y un frenaje apropiado.

La naturaleza de la carpeta debe ser tal que resista la acción de los agentes del intemperismo; debe ser impermeable para impedir la penetración y/o acumulación de agua en el interior del pavimento (porque disminuye la resistencia al efecto cortante).

Es de desear que tenga un color que evite los reflejos del sol durante el día o luces artificiales durante la noche. Es cada vez mayor la utilización de concreto asfáltico de gran espesor, que a las funciones señaladas anteriormente, añaden una importante función estructural e influyen mucho en el comportamiento esfuerzo-defomación de toda la sección resistente de la vía terrestre.

La exposición directa a las cargas de tránsito y la

indeformabilidad necesaria para el buen servicio, implican que la carpeta esté formada con material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior; o sea que se necesita un material que posea "cohesión" y es precisamente el producto asfáltico que liga los agregados pétreos el que la proporciona.

En el caso de las carpetas bituminosas, la mejor práctica es buscar un material en que las partículas se defiendan de la abrasión por su peso y por una fuerte trabazón y este buen acomodo puede beneficiarse con granulometría relativamente variada en que, partículas del tamaño de las arenas, puedan rellenar los huecos entre las partículas más grandes "amacizando" el conjunto.

ESPECIFICACIONES. "Normas de Construcción" SCT (Parte VIII). Es la superficie de rodamiento de un pavimento; puede ser de varias formas, como son: entre algunas otras, mezcla en planta y en caliente, mezcla en planta y en frío, mezcla en el lugar o tratamientos superficiales, en todos los casos anteriores es una unión de un agregado pétreo y un producto asfáltico.

Materiales pétreos para carpetas y mezclas asfálticas, son los materiales pétreos seleccionados que aglutinados con un material asfáltico se emplean para construir carpetas

o mezclas asfálticas.

Los materiales pétreos se clasifican en:

a). Materiales naturales que requieran uno o varios de los tratamientos indicados a continuación: disgregación, cribado, trituración y lavado.

b). Mezclas de dos o más materiales del grupo anterior.

NORMAS DE LOS MATERIALES. Los materiales pétreos para carpetas asfálticas elaboradas por los sistemas de mezcla en el lugar y en planta estacionaria, deberán satisfacer las siguientes normas:

1. **DE GRANULOMETRIA.** La curva granulométrica del material pétreo para mezclas en el lugar, deberá cumplir con lo que indique el proyecto en cada caso; y en términos generales, deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la Zona 1 y el límite superior de la Zona 2, de la Figura 3-1. La Zona 1 corresponde a materiales pétreos de granulometría gruesa y la Zona 2 a los materiales pétreos de granulometría fina. La curva granulométrica de material pétreo, deberá afectar una forma semejante a las curvas que limitan las zonas por lo menos en las dos terceras partes de su longitud sin presentar cambios bruscos de pendiente.

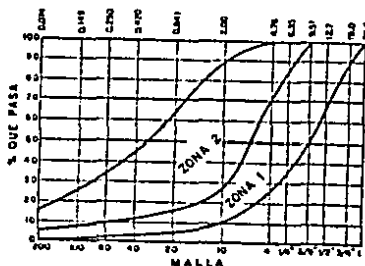


FIGURA 3-1.

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA
MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN MEZCLAS
ASFALTICAS EN EL LUGAR.

La curva granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos, en términos generales, deberá quedar comprendida en la zona limitada por las dos curvas de la Fig. 3-1.

La granulometría del material cumple con los requisitos de proyecto si está dentro de las siguientes tolerancias:

TAMAÑO DEL MATERIAL PETREO		TOLERANCIA POR CIENTO EN PESO DEL MATERIAL - PETREO
MALLA QUE PASA.	RETENIDA EN MALLA.	
Correspondiente al tamaño máximo	4.76 mm (Num.4)	± 5
4.76 mm (Num. 4)	2.00 mm (Num.10)	± 4
2.00 mm (Num.10)	0.420 mm (Num.40)	± 3
0.420 mm (Num.40)	0.074 mm (Num.200)	± 1
0.074 mm, (Num.200)	"	± 1

2. DE CONTRACCION LINEAL. Cuando la curva granulométrica de material pétreo quede ubicada en la Zona 1 de la Fig. 3-1... 3 % máximo, cuando quede ubicada en la Zona 2 de la

Fig. 3-1... 2 % máxima, material pétreo para concretos asfálticos 2 % máximo.

3. De desgaste para cualquier tipo de material pétreo 40 % máximo.

4. Partículas alargadas y/o alargadas en forma de laja 35 % máximo.

5. Equivalente de arena 55 % mínimo.

ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS O RIEGOS DE SELLO.

A) Cementos asfálticos

CARACTERISTICAN	CEMENTO ASFALTICO			
	Núm. 3	Núm. 4	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100 g. 5s, 25°C, pesos	180-341	80-101	160-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Fursch:				
A 145°C, y, mínimo	60	85	100	120
Punto de inflamación (temp. abierta de Cleveland), °C				
mínimo	231	212	232	214
Punto de reblandecimiento, °C	37-41	43-52	46-50	32-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	80	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Peso de la película de goma, 50 cm ² , 5 h, 103°C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo	40	50	50	50
Pérdida por ablandamiento, por ciento, máximo	1.4	1.0	1.0	0.8

MATERIALES ASFALTICOS.

El asfalto es un material bituminoso sólido o semi-sólido con propiedades aglutinantes y que se licúa gradualmente al calentarse.

El asfalto está constituido principalmente por asfaltos, resinas y aceites; estos construyentes le dan al asfalto sus características de consistencia, poder de aglutinación y ductilidad.

Los materiales asfálticos son los siguientes:

a). CEMENTOS ASFALTICOS. Son asfaltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar a éste sus solventes volátiles y parte de los aceites.

b). ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RAPIDO. Que son los materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina.

c). ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO. Son los materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo del queroseno.

d). ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO. Son los

materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente de baja volatilidad o aceite ligero.

e). EMULSIONES ASFALTICAS. Son los materiales asfálticos líquidos estables, formados por dos fases no miscibles en los que la fase continúa por pequeños glóbulos de asfalto.

Dependiendo del agente emulsificante, las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas si los glóbulos del asfalto tienen carga electronegativa o catiónica, si los glóbulos asfálticos tienen carga electropositiva; las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento.

Los materiales asfálticos deberán satisfacer las características que a continuación se indican:

Tablas Pág. 43, 44, 45, 46, 47, 48. SCT. (Ver Anexo 1)

Aplicación de los diferentes productos asfálticos:

MEZCLA EN PLANTA. Son los que generalmente tienen la mejor calidad, ya que la granulometría del agregado pétreo se lleva controlada en función del peso del agregado, generalmente las plantas tienen varias mallas y se permite que pase agregado de cierto tamaño y cierto peso.

El % de cemento asfáltico también se controla en función al peso.

MEZCLAS EN CALIENTE. Se elaboran con cemento asfáltico siendo estas las de más alta calidad y resistencia; la función de que sea mezcla en caliente es para hacerla fluida.

MEZCLAS EN FRIO. Sería un agregado pétreo con asfalto rebajado, ya que este último no necesita grandes temperaturas. Es de menor calidad que la anterior por ser un asfalto rebajado.

MEZCLAS EN EL LUGAR. Es muy utilizado en México, por la facilidad de trabajar en el campo, la calidad de la mezcla tiene sus defectos, ya que la granulometría del agregado puede ir cambiando y también la cantidad de asfalto rebajado. Se elaboran con asfalto FR y en algunos casos emulsiones asfálticas.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES. Se les llama así a aquellos tratamientos de asfaltos con agregado cuyo espesor es menor a 1/2 pulgada, como los riesgos de sello de 1 capa, 2 capas, los cuales se realizan con asfaltos rebajados del tipo FR.

Estos riegos tienen dos aplicaciones:

1. Al terminar una superficie que sirva como superficie de rodamiento de poco tránsito.

2. Una carretera vieja se le pone un riego de sello, esto es, se le pone asfalto sobre la carpeta del pavimento creando una pequeña capa, posteriormente se aplica el agregado pétreo, se da una pasada con rodillo liso y luego se da una barrida a la superficie de rodamiento. Se emplea la emulsión con arena.

A un pavimento flexible al terminar la base generalmente se le aplica un riego con asfalto que se le da el nombre de riego de impregnación, las funciones son:

1. Impermeabilizar la base, ya que es una forma de prevención en caso de que llueva y la protege contra la erosión para que no penetre el agua.

2. Durante la vida útil del pavimento, el agua que pueda penetrar, saiga hacia los lados.

3. Formar una capa de transición entre la base y la carpeta.

RIEGO DE LIGA. Después del riego de impregnación se coloca el riego de liga, su función es anclar la carpeta en la base; el producto asfáltico que se emplea es FR, ya que como no va a penetrar en la base, no importa que los solventes se evaporen rápidamente.

TIPO DE ASFALTO	ASFALTOS REBAJADOS			EMULSIONES			
	MEZCLADO GRANULOMETRIA	MEZCLA EN EL LUGAR.	EN PLANTA MOVIL.	EN PTA. ESTAC.	MEZCLA LUGAR.	EN PTA. MOVIL.	EN PTA. ESTAC.
UN SOLO TAPADO.	FR-1	FR-2	FR-3	FR-3	RL-2		RM-2
	FR-2	FR-3	FR-4	FR-4	RL-3K		RM-2K
ABIERTA.	FM-1	FM-2	FM-3	FM-3			
	FM-2	FM-3	FM-4	FM-4			
DENSA.	FL-1	FL-2	FL-3	FL-3	RL-1		RM-2
	FL-2	FL-3	FL-4	FL-4	RL-2K		RM-2K

3.2. BASE.

Puede hacerse con piedra triturada, grava-arena de río cribada o parcialmente triturada, cuando se hace con estos

materiales se le conoce como: BASE HIDRAULICA.

En algunos casos se le pone algún aditivo como el cemento para darle mayor rigidez, como en el caso de las carreteras con alto tránsito, o mayor dureza y se le nombra: BASE ESTABILIZADA.

También se puede estabilizar con asfalto y en este caso se le nombra: BASE NEGRA.

Anteriormente se utilizaba base con piedra acomodada en forma manual, a la que se le daba el nombre de MACADAM.

En algunas otras ocasiones la losa de pavimento rígido ya se ha destruido y se le pone una losa de concreto hidráulico y puede quedar como base del pavimento.

FUNCIONES. Hasta cierto punto existe en la base, que es la capa que sigue a la sub-base, en orden ascendente, adoptando una función económica, pues permite reducir el espesor de la carpeta, más costosa, pero la función fundamental de la base de un pavimento flexible es estructural y consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas de tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas. La capa debe ser gruesa, con pocos finos (material que pase la malla No.

200), pues al usar material grueso sirve para dos cosas:

a). En un dado caso que se penetre el agua por la carpeta, el material grueso es permeable y arrojaría el agua hacia los lados, entonces sirve como capa drenante.

b). Si el N.A.F. se encuentra muy cercano a la superficie, el agua puede ascender por las capas y la función de que sea gruesa es para evitar que el material no ascienda por capilaridad (porque se generan fuerzas de cohesión y de adherencia); entonces se forma un menisco y va a generar una fuerza en el agua que se llama TENSION SUPERFICIAL.

TENSION SUPERFICIAL.

GENERALIDADES. Cuando se altera la forma de la superficie de un líquido, de manera que el área aumente, es preciso realizar para ello un trabajo; este se recupera cuando la superficie se retrae a su forma primitiva, de modo que la superficie en cuestión resulta capaz de almacenar energía potencial.

El trabajo necesario para aumentar el área de una superficie líquida resulta ser, experimentalmente, proporcional al aumento, definiéndose como coeficiente de tensión superficial la relación entre ambos conceptos.

$$d w = T s . d A$$

$$\therefore T s = \frac{d w}{d A}$$

Donde:

$T s$ = Coeficiente mencionado, que se mide en unidades de trabajo o energía entre unidades de área; o sea, por ejemplo, en dinas/cm.

Representa la fuerza por unidad de longitud, en cualquier línea sobre la superficie.

Puede probarse que cuando un líquido presenta al aire una superficie curva, se genera en este menisco curvo un desnivel de presión, de modo que la presión en el lado convexo es siempre menor que la existente en el lado cóncavo.

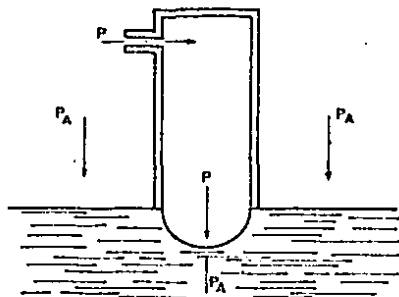
Una demostración particular de esta afirmación, para el caso de un menisco semiesférico se da a continuación.

En el dispositivo de la siguiente figura se inyecta aire a un tubo de pequeño diámetro (1 mm. aproximadamente) a través de la boquilla, a la presión (p).

El líquido envasado en el extremo del tubo cede por la presión, formando un menisco, que provoca un aumento en la superficie que encierra el tubo. Se demuestra inmediatamente

antes de que el menisco se rompa al crecer "p", adopta la forma de una semiesfera.

MECANICA DE SUELOS .



Ref. 1

Menisco semiesférico formado en el extremo inferior de un tubo

Se supondrá al dispositivo en lo que sigue, en esa condición.

El área de la semiesfera es: $A = 2 \pi R^2$

Siendo "R" el radio del menisco formado, que es igual al radio del tubo.

Si ese radio varía a $(R + dR)$, el área de la esfera se incrementa en:

$$dA = 4 \pi R dR$$

Y tenemos que el trabajo necesario para lograr ese incremento será:

$$dw = 4 \pi T_s R dR$$

En el lado cóncavo del tubo existe la presión "p", mientras en el convexo obra p_A = presión atmosférica, si se desprecia el pequeño aumento de presión hidrostática con la profundidad, bajo la superficie libre del líquido que rodea al tubo.

considérese un elemento del área del menisco (ds). La fuerza neta que obra en esa área es:

$$(p - p_A) ds$$

Y cuando el área del menisco incrementa "dA", esa fuerza realizará un trabajo:

$$dw = (p - p_A) ds dR$$

Ya que "dR" es la distancia radial recorrida por el menisco. El trabajo total realizado en el incremento "dA", se puede obtener integrando la expresión anterior a toda el área del menisco, de modo que:

$$dw = (p - p_A) 2 \pi r R^2 dR$$

Igualando expresiones:

$$4 \pi r T_s R dR = (p - p_A) 2 \pi r R^2 dR$$

De donde:

$$p_A = p - \frac{2 T_s}{R}$$

La fórmula indica que la presión "pA" en el lado convexo del menisco, es siempre menor que la presión "p" en el cóncavo, que en el caso de este experimento fue proporcionada con aire comprimido introducido en el tubo.

De acuerdo con la fórmula de Laplace, más generalmente válida para una superficie en forma cualquiera:

$$p - p_0 = \frac{2 T_s}{R} \text{ Menisco esférico.}$$

R Radio de una esfera.

Cuando se tienen problemas de capilaridad, se coloca una capa rompedora de capilaridad que es para no permitir que el agua pase la estructura. Esta se coloca inmediatamente después de terminar la terracería.

Otra función es recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie

de rodamiento.

Transmitir adecuadamente distribuidas estas cargas a las terracerías.

3.3. SUB-BASE.

Los materiales que la constituyen son similares a una capa de la base, aunque las especificaciones son un poco más tolerables, ya que los esfuerzos que le llegan a ella son menores (material más fino).

· **FUNCIONES.** Una de las principales funciones de la sub-base de un pavimento flexible, es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible.

Todo el espesor podría constituirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituiría en parte por una capa de menor calidad, aunque haya de ser aumentado el espesor, pues naturalmente cuanto menor sea la calidad del material colocado, tendrá que ser mayor el espesor necesario para soportar y transmitir los esfuerzos.

Otra función de la sub-base consiste en servir de

transición entre el material de la base, generalmente granular grueso y el de la sub-rasante, que tiende a ser mucho más fino, la sub-base actúa como el filtro de la base e impide su incrustación en la sub-rasante, por ejemplo: cambios volumétricos, asociados a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento.

También la sub-base actúa como dren para desalojar el agua que se infiltre desde arriba y para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la terraza.

De todas las funciones anteriores la estructural y la económica, existen seguramente en todas las sub-bases que se proyectan, las otras dependen un tanto de las circunstancias del caso y de la calidad del material que se utilice en la propia sub-base.

Respecto al último punto mencionado, es común exigir a los materiales de sub-base, requisitos de tamaño, máxima granulometría, plasticidad, equivalente de arena y valor relativo de soporte. También suelen considerarse requerimientos mínimos de compactación.

La siguiente figura muestra la zona en la que debe desarrollarse la curva granulométrica del material que se

emplee en una sub-base, según las normas de Obras Públicas; se pide que la curva granulométrica además de estar comprendida entre las zonas 1, 2 ó 3, tenga una forma semejante a los trazos que marcan esas zonas sin cambios bruscos de curvatura.

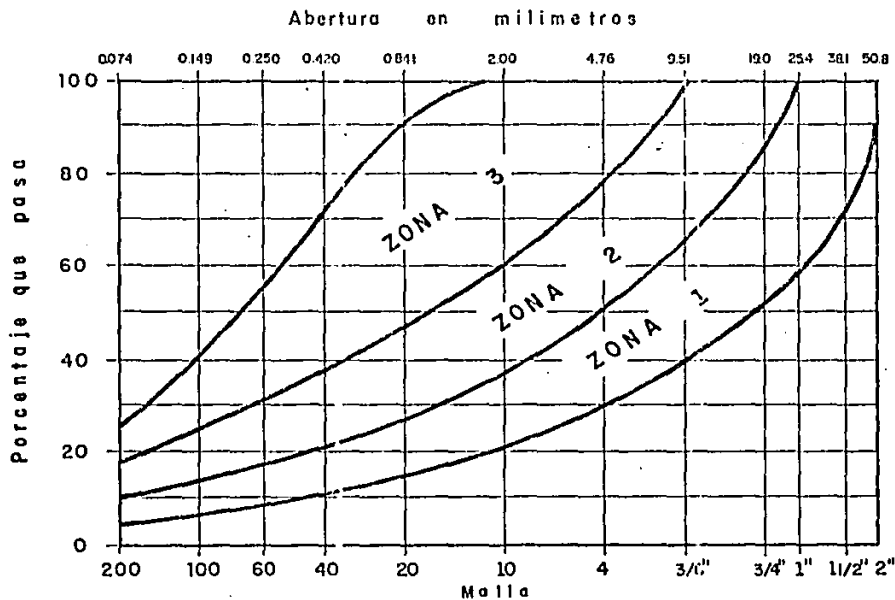
La relación de % en peso que pase la malla No. 200, al que pase la malla No. 40, no deberá exceder de 0.65, el tamaño máximo del material se limita a 51 mm. (2").

Se fija tentativamente que el equivalente de arena del material sea 20 como mínimo.

El V.R.S., mínimo 50 % con el material en condición saturada grado de compactación (Obras Públicas); exige el 95 % de acuerdo con sus materiales de laboratorio.

Básicamente conviene buscar dos cualidades principales en un material de sub-base que son la resistencia friccionante y la capacidad drenante.

La primera beneficiará la resistencia del conjunto y a la vez será garantía de un buen comportamiento en cuanto a la deformabilidad, pues un material que pase esta calidad de resistencia, será poco deformable a condición de estar bien compactado.



RECUDRIMIENTOS GRANULOMETRICO DE UN MATERIAL DE SUB-BASE Y BASE

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON
 FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO
 Thelma Lilián Pacheco Gallegos.

La capacidad drenante es muy deseable para la doble función de drenaje, que permitirá al pavimento eliminar convenientemente tanto el agua que se filtre por su superficie como la que asciende por capilaridad.

ESPECIFICACIONES. BASE Y SUB-BASE.

I.- Los materiales para revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, se clasifican como sigue:

a). Materiales pétreos que no requieran ningún tratamiento de disgregado, cribado o trituración.

b). Materiales pétreos o de origen animal que para su utilización requieren tratamientos de disgregado, cribado o trituración.

c). Mezclas de dos o más materiales del grupo (a), del grupo (b) o materiales provenientes de ambos grupos.

d). Materiales de los grupos (a), (b) ó (c), mezclados con cemento Portland o una mezcla adecuada de cemento Portland y Puzolana.

f). Materiales de los grupos (a), (b) ó (c) mezclados con cal hidratada, cal hidratada y puzolana o cal hidratada

o cemento portland.

NORMAS DE MATERIALES.

La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, de la Figura (Ref. 2). De preferencia no deberán utilizarse materiales cuya curva se encuentre alojada en la zona 1.

La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a las curvas que limitan las zonas sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en peso que pase la malla No. 200, al que pase la malla No. 40, no debería ser mayor de sesenta y cinco centésimos (0.65), podrá aceptarse hasta un cinco por ciento (5 %) en volumen de partículas de tamaño mayor de setenta y seis (76) milímetros (3"), en el material transportado al camino en donde deberán eliminarse.

Los materiales que se mencionan en los párrafos (a), (b) y (c), del punto 1, cuando se emplean para sub-base en pavimento flexible, deberán llenar los siguientes requisitos:

1. La curva granulométrica del material deberá quedar

comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, Fig. (Ref. 2) y deberá afectar una forma semejante a las curvas que limitan las zonas sin presentar cambios bruscos de pendiente. La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 40, no deberá ser mayor de 0.65.

2. El tamaño máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de 52 milímetros (2").

CARACTERISTICAS.	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO A SU GRANULOMETRIA.		
	(1)	(2)	(3)
Contracción lineal en por ciento.	6.0 Max.	4.5 Max.	3.0 Max.
Valor cementante para materiales angulosos en Kg/cm ² .	5.5 Min.	4.5 Min.	3.5 Min.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos en Kg/cm ² .	8.0 Min.	6.5 Min.	5.0 Min.
Valor relativo de soporte estandar saturado en por ciento.	30	MINIMO.	

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO A SU GRANULOMETRIA.		
	(1)	(2)	(3)
Contracción lineal en por ciento	6.0 Max.	4.5 Max.	3.0 Max.
Valor cementante para materiales angulosos en Kg/cm ² .	3.5 Min.	3.0 Min.	2.5 Min.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos en Kg/cm ²	5.5 Min.	4.5 Min.	3.5 Min.
Valor relativo de soporte estandar saturado en por ciento.	50	MINIMO	
Equivalente de arena.	20 MIN.	(TENTATIVO)	

El material deberá compactarse a noventa y cinco por ciento (95 %) mínimo de su peso volumétrico seco máximo.

Los materiales clasificados en el grupo (d) del punto I que predominantemente contengan partículas que pasen la

malla No. 4 (más del 70 %) para formar sub-bases de pavimento flexible deberán llenar los siguientes requisitos:

Valor de estabilidad.	180 kg. mínimo. (tentativo).
Expansión.	2 % máximo. (tentativo).
Absorción.	5 % máximo. (tentativo).

Los materiales no plásticos como las arenas, pueden emplearse como sub-bases, si una vez estabilizados con un material asfáltico, satisfacen el requisito siguiente de valor soporte Florido modificado (para emplearse en obras localizadas en zonas de climas cálidos) 65 kg. mínimo (tentativo).

El grado de compactación deberá ser 95 % mínimo, de su peso volumétrico máximo, obtenido de la mezcla asfáltica salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación.

Los materiales clasificados en el grupo (e) de la parte 1, deben satisfacer los siguientes requisitos:

1. El material por estabilizar no deberá contener una cantidad de materia orgánica mayor al 3%.

2. Los materiales estabilizados una vez analizados,

deberán compactarse en el camino a 95 % mínimo de su peso volumétrico seco máximo.

3. En las estabilizaciones de material para sub-base de tipo rígido (suelo cemento) en cada caso particular del proyecto y/o el representante fijará las normas de calidad que deberán cumplirse.

Los materiales clasificados en el grupo (f) de la parte I, para formar sub-bases debe de reunir los siguientes requisitos:

Para materiales antes de estabilizarse:

Índice plástico.	45 máximo.
	10 mínimo.
Límite líquido.	45 máximo.
Contenido de mat. org.	3 % máximo.

Los materiales que se mencionan en párrafos a), b) y c), del punto I, cuando se empleen para bases en pavimentos flexibles y para sub-bases en pavimentos rígidos, deben llenar los siguientes requisitos:

1. La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el

superior de la zona 3 de la Figura (Ref. 2), preferentemente deberán emplearse materiales cuya curva granulométrica se localice en las zonas 1 ó 2.

2. La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación de % en peso que pase la malla No. 200, al que pase la malla No. 40, no deberá ser mayor de 0.65 (sesenta y cinco centésimos).

3. El tamaño máximo de las partículas de material, no deberá ser mayor de 50 mm. (2") para material correspondiente al grupo (a) o de 38 mm. (1 1/2") para material correspondiente al grupo b).

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO A SU GRANULOMETRIA.		
	(1)	(2)	(3)
Límite líquido en por ciento.	30 Max.	30 Max.	30 Max.
Contracción lineal en por ciento.	4.5 Max.	3.5 Max.	2.0 Max.
Valor cementante para materiales angulosos en Kg/cm ²	3.5 Min.	3.0 Min.	2.5 Min.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos en Kg/cm ² .	5.5 Min.	4.5 Min.	3.5 Min.

De valor relativo de soporte estándar, equivalente de

arena e índice de durabilidad, los fijados en los cuadros que figuran a continuación:

ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION.

INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS.	V.R.S. ESTANDAR	EQUIVALENTE DE ARENA. (tentativo)	INDICE DE DURABILIDAD (tentativo)
Hasta 1,000 vehiculos pesados al día.	80 Min.	30 Min.	35 Min.
Mas de 1,000 vehiculos pesados al día.	100 Min.	50 Min.	40 Min.

El grado de compactación deberá ser 95 % mínimo de su peso volumétrico seco máximo.

Los materiales clasificados en el grupo d) de la parte I que contengan predominantemente partículas que pasen la malla No. 4 (más del 70 %) cuando se empleen para bases en caminos de tránsito menor de 1,000 vehículos pesados diarios

y para sub-bases en pavimentos rígidos para patios y plataformas, deberán llenar los siguientes requisitos:

Valor de estabilidad.	180 kg. mínimo. (tentativo).
Expansión.	2 % máximo. (tentativo).
Absorción.	5 % máximo. (tentativo).

Los materiales no plásticos como las arenas, pueden emplearse como bases de pavimento, si una vez estabilizados con material asfáltico satisfacen el requisito siguiente de valor:

Soporte florido modificado 65 kg. mínimo (tentativo).

El grado de compactación en el camino, patio o plataforma. La mezcla elaborada con los materiales indicados en los párrafos a) y b), deberá compactarse a 95 % mínimo de su peso volumétrico seco máximo.

3.4. SUB-RASANTE.

El papel de la sub-rasante en la estabilidad del conjunto terracería-pavimento es fundamental.

Una sub-rasante del suficiente espesor y calidad permitirá muy importantes ahorros en los espesores de los

pavimentos suprayacentes, sin perjuicio de la función estructural conjunta, pues será capaz de absorber niveles de esfuerzo relativamente altos provenientes de la superficie y transmitirlos suficientemente disminuidos a las terrazas; desde este punto de vista económico, resultan igualmente importante la calidad y el espesor.

Los materiales que se usan en la capa sub-rasante nunca pueden ser demasiado buenos, de manera que la contribución de la capa usualmente, descansa más en el espesor que en la calidad.

En muchos países la sub-rasante no se construye con un material diferente al de la terracería y se distingue de éste sólo por un mejor tratamiento de compactación. Elimina los suelos finos (MH, CH), cuyo límite líquido sea mayor de 100 % y todos los suelos orgánicos con límite líquido mayor de 50 % (OH). Sus características mínimas son:

Espesor de la capa.	30 cm. mínimo.
Tamaño máximo.	7.5 cm. (3").
Grado de compactación.	95 % del PVSM.
VRS	15 % mínimo.
Expansión máxima.	5 %.

Los dos últimos valores se obtienen con la prueba Porter Estandar.

FUNCIONES.

a). Recibir y resistir las cargas de tránsito, que le son transmitidos por el pavimento.

b). Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.

Estas dos funciones son de tipo estructural y son comunes a todas las capas de las secciones transversales de una vía terrestre.

c). Evitar que cuando el cuerpo de terraplén esté formado de materiales finos plásticos, estos contaminen el pavimento.

El tamaño de las partículas entre las finas correspondientes al cuerpo del terraplén y las granulares del pavimento.

d). Evitar que el pavimento sea absorbido por las terracerías cuando estas estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes), en este caso la granulometría del material debe ser intermedia entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (base o sub-base).

e). Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.

f). Uniformar los espesores del pavimento principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de la terracería a lo largo del camino.

g). Economizar espesores de pavimento en especial cuando los materiales de la terracería requieren un espesor grande.

3.5. TERRACERIAS.

Pueden ser definidas como los volúmenes de materiales que se extraen o sirven de relleno para la construcción de una vía terrestre; la extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen se usa en la construcción de los terraplenes o rellenos, se dice que se tienen terracerías compensadas.

El establecimiento del comportamiento conjunto de la terracería, con la estructura del pavimento, ha sido objeto de relativamente poca atención en el pasado y existe poco escrito sobre él en la literatura especializada, pero pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

a). Se ve razonable pensar que la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante, no es un requisito fundamental en las terracerías; los niveles de esfuerzo a que a ellas llegan a través de todo el espesor protector que constituye el pavimento, quedan siempre por debajo de la capacidad de carga a la falta de cualquier material de terracería.

b). La deformabilidad parece ser requisito básico para la aceptación o rechazo de un material de terracería y también el que condiciona su buen comportamiento como soporte de un buen pavimento. Desde este punto de vista serán fundamentales todos los conceptos que contribuyan a que el material de terracería sea poco deformable.

CAPITULO IV

**FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DE UN
PAVIMENTO RIGIDO**

FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DE UN PAVIMENTO RIGIDO

Un pavimento rígido tiene como elemento estructural una losa de concreto, ésta se apoya sobre una capa de material seleccionado, a la que se le da el nombre de sub-base; cuando la sub-rasante del pavimento tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiéndose así de una sub-base especial. De lo que se trata es de que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable como para garantizar que no quede localmente falta de soporte.

De lo anterior podemos deducir que los elementos de un pavimento rígido son los siguientes:

A). LOSA.

B). SUB-BASE.

A). LOSA.

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 y 400 kg/cm². Las losas pueden ser de concreto simple o reforzado o pre-esforzado.

Cuando se utiliza concreto simple o reforzado, el

tamaño de las losas es similar, tendiendo generalmente a ser cuadradas con 3 a 5 m. de largo, pero en la actualidad existe una tendencia a aumentar su área.

El concreto pre-esforzado permite la utilización de superficies continuas de área muy superior.

Sus funciones son de servir de superficie de rodamiento.

Desde el punto de vista estructural, soportar prácticamente la totalidad de los esfuerzos, prevenir la penetración del agua o acumulación de la misma en el interior del pavimento.

B). SUB-BASE.

La preocupación en torno a la calidad de apoyo que se ofrece a las losas de concreto, data apenas de la Segunda Guerra Mundial; antes de esta época las losas se colocaban directamente sobre el material de terracería; dotado a lo más de una capa sub-rasante, pero sin establecer ninguna diferenciación de criterio si los materiales encontrados con el concreto eran arenas, arcillas o limos.

El incremento de tráfico de vehículos pesados en las

carreteras, pusieron de manifiesto la influencia de un apoyo adecuado en la vida de las losas de concreto y como consecuencia, en la actualidad se ha establecido la norma de construir una sub-base apropiada en las carreteras de tráfico pesado.

Esta sub-base consiste de una o más capas de materiales granulares, muchas veces estabilizadas; solamente cuando la sub-rasante cumpla de por sí las características que se estiman deseables para la sub-base, podrá evitarse el construir en forma especial.

FUNCIONES.

Las principales funciones de la sub-base de un pavimento rígido son:

- a). Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.

- b). Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa subrasante.

- c). Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la capa sub-rasante.

d). Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de las terracerías o de la capa sub-rasante.

e). Evitar el bombeo.

Dada la rigidez de las losas de concreto y su resistencia, los esfuerzos que se transmiten a la sub-base son pequeños, por lo que la resistencia no suele ser un requisito importante.

En cambio, el correcto trabajo de las losas exige que estén uniformemente apoyadas y que ese apoyo se mantenga en buenas condiciones durante toda la vida del pavimento.

Un buen apoyo debe incluir transiciones graduales en donde haya cambios abruptos en la capacidad portante del terreno.

cuando el ancho de las bandas de circulación sea tal que pueda considerarse que las ruedas de los vehículos pesados se mantienen en la zona interior de las losas, puede estimarse que el esfuerzo que llegue a la sub-base estará en el orden del 3 al 4 por ciento de la presión actuante de la superficie de la losa; esto ocurrirá con bandas de ancho superior a 3.50 m., por el contrario, con

bandas de circulación del orden de 3.0 m., las llantas exteriores de los vehículos pesados circulan muy cerca del borde exterior de las losas y en esas zonas se inducen en la sub-base mayores esfuerzos que pueden llegar al orden del 0.5 kg/cm².

Para las funciones que debe desempeñar la sub-base, se considera como material ideal uno granular, bien compactado, relativamente grueso y de granulación más bien uniforme.

BOMBEO.

Cuando la carga pasa sobre una grieta o junta de la losa, ésta desciende y transmite presión al material bajo ella. Si este material está muy húmedo o saturado, la mayor parte de esta presión la tomará el agua que tiende a escapar por la grieta o junta, después de pasar la carga, la losa se recupera y levanta y este movimiento produce una succión que ayuda al movimiento del agua bajo la losa. Si el agua tiene capacidad de arrastrar partículas del suelo, saldrá sucia, creando progresivamente un vacío en la losa, que tiende a hacer que el fenómeno se acentúe; además el remoldeo que este efecto produce al suelo, tiende a hacer que éste forme un lado o suspensión con el agua, con lo que el fenómeno se agudiza.

El fin de este proceso es la ruptura de la losa bajo

carga por falta de sustentación. Este efecto recibe el nombre de BOMBEO.

Para que exista el bombeo es preciso que el material de soporte de la losa sea plástico, sobre todo del tipo CH y que esté fuertemente humedecido o saturado y es condición indispensable que se produzca; por eso, el fenómeno es frecuente en caminos.

CRITERIOS DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS RIGIDOS.

Los pavimentos rígidos a causa de su módulo de elasticidad alto y su rigidez, tienden a distribuir la carga sobre una área del suelo significativa, por lo que gran parte de la capacidad estructural del pavimento, es proporcionado por la losa de concreto en sí misma. Por esta razón, variaciones menores en la resistencia del terreno de soporte tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento rígido.

	Capacidad soporte cargas.
	Vida útil.
ESTRUCTURAL.	Mantenimiento/conservación.
	Terreno soporte.
	Factores regionales.
	Materiales:
CRITERIOS DE SELECCION.	Financiamiento.
	Inversión Inicial.
	Mantenimiento/Reconstrucción/ Largo plazo.
COSTOS.	Resistencia agentes contami- nantes.
	Uso/Operación.
	Límites de construcción.
	Seguridad, Confort.
	Materiales.
	Expansión del sistema.

ANALISIS DEL SISTEMA

Factores Involucrados en el Proceso de Diseño.

ANALISIS, TRAFICG Y CARGAS.

ANALISIS ESFUERZOS.

FACTORES REGIONALES.

PROPIEDADES MATERIALES

ESTABILIZACION SUELOS.

MAT. TERRENO CIMENTACION.

BASES Y SUB-BASES.

MAT. SUPERFICIE RODAMIENTO.

VARIABILIDAD
ESTADISTICA MATERIALESSELECCION VALORES
DE DISEÑO.

ANALISIS DE COSTOS

FACTORES SELECCION
RIGIDO/FLEXIBLE.COMPORTAMIENTO
Y FALLAS.SELECCION DE
LA ESTRUCTURA
DEL PAVIMENTO

EVALUACION

MANTENIMIENTO
Y RECONSTRUCCION.CHEQUEO DE CRITERIO
Y SUPOSICIONES INI-
CIALES.

VARIABLES DE ENTRADA

PROCESO DE DECISION.

DISEÑO.

SERVICIO.

Las modernas tecnologías que se aplican en el diseño de espesores de pavimentos de concreto, contemplan parcialmente el análisis teórico de los esfuerzos elásticos, a los que se someten las losas constitutivas de los pavimentos bajo la acción de las cargas.

En el caso de carreteras, los procedimientos de diseño de espesores de losas varían bastante, según la experiencia de la institución que recomienda; el método de la Asociación de Cementos Portland propone que deberá comenzarse por valuar la denominada relación de resistencias

$$R_r = \frac{MR \text{ (actuante)}}{MR \text{ (Disponible)}}$$

Para ello deberá conocerse el valor de la resistencia a la tensión en flexión que se aplicará a las losas; así como el valor de dicho concepto que sirva de base del proyecto.

A continuación deberá establecerse el nivel de repeticiones de carga actuante correspondiente al valor de relación de resistencias que se haya obtenido.

Una carga que aplique a las losas un valor de MR tal que la relación de resistencias sea menor que 0.5, puede

aplicarse cualquier número de veces sin falla.

Existe la recomendación adicional de que la carga de tránsito se afecta por un factor de seguridad. Dicho factor es 1.2 para carreteras importantes con tránsito muy abundante de vehículos pesados; 1.1 para carreteras o calles sujetas a volúmenes medios de tránsito de vehículos pesados y 1.0 para carreteras y calles con volumen pequeño o nulo de dicho tipo de tránsito.

La aplicación del método exige conocer la distribución de cargas de tránsito, sabiendo tanto para el caso de ejes sencillos como de ejes Tandem.

Es preciso disponer del módulo de reacción de la sub-rasante y de dicho valor corregido por la presencia de la sub-base. Y se fija un valor de proyecto de MR que habrá de satisfacer el concreto que se cuele en la obra.

CAPITULO V

**TIPOS DE FALLAS DE LOS
PAVIMENTOS FLEXIBLES**

TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

La primera condición que debe cumplir el pavimento, es soportar las cargas impuestas por el tránsito, dentro del nivel de deterioro y paulatina destrucción previstos por el proyecto. Las cargas del tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. Suele considerarse a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural; correspondientemente la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta ser la propiedad fundamental.

Con respecto a la deformación, dada la naturaleza de los materiales que forman las cargas del pavimento, la deformación suele crecer mucho hacia abajo y la terracería es mucho más deformable que el pavimento propiamente dicho y dentro de éste la sub-rasante capa inferior es mucho más deformable que capas superiores. Las deformaciones interesan desde dos puntos de vista: Por un lado, porque las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla; y por otro lado, porque es sabido que un pavimento deformado puede dejar de cumplir sus funciones.

Las deformaciones que producen en un pavimento las cargas de tránsito, son:

Las elásticas (Recuperación instantánea).

Suelen denominarse plásticas a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora.

TIPOS DE FALLAS MAS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

La mayor parte de la tecnología que el Ingeniero de pavimentos ha ido desarrollando, tiene por objeto evitar la aparición de todo un conjunto de deterioros y fallas que se han ido tipificando y describiendo con el mayor detalle compatible con el nivel de conocimiento y en los que, lo que es aún más importante, se ha ido logrando establecer una relación causa/efecto que permite desarrollar todo un conjunto de normas de criterio de proyecto y conservación.

En pavimentos es común que la palabra "falla" se utilice tanto para verdaderos colapsos o desastres locales como para describir deterioros simples o lugares de posible evolución futura desfavorable.

Las fallas de los pavimentos pueden posiblemente dividirse en tres grupos fundamentales, de origen bien diferenciado:

A). FALLAS POR INSUFICIENCIA ESTRUCTURAL.

Se trata de pavimentos contruidos con materiales

Inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente. En términos generales esta es la falla que se produce cuando las combinaciones de resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y los respectivos espesores, no son los adecuados para que establezca un mecanismo de resistencia apropiado.

B). FALLAS POR DEFECTOS CONSTRUCTIVOS.

Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto.

C). FALLAS POR FATIGA.

Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas; pero que por la continuada repetición de las cargas de tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural; y en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada. Como quiera que estos fenómenos estén grandemente asociados al número de repeticiones de la carga, las fallas de fatiga resultan claramente influenciadas por el tiempo de servicio; son las fallas típicas de un pavimento que durante mucho tiempo trabajó sin problemas.

La siguiente tabla es con el fin de agrupar las fallas de los pavimentos flexibles por el modo en que suceden y se manifiestan.

La tabla presenta una clasificación con todas las fallas primariamente referidas a tres tipos: fracturamiento, deformación y desintegración.

Así mismo presenta también una diferenciación posterior de estos tres tipos en otros varios en que pueden subdividirse según la gravedad del defecto, asociando a estos las causas mecánicas más comunes.

En general, las causas últimas son las mismas para los tres tipos de fallas principales (Tabla 5-A) y se relacionan siempre con el efecto de tránsito; las características y estructuración del pavimento y la naturaleza del apoyo que proporciona la terracería; pero las variables específicas principales que más influyen en cada tipo de falla sí pueden ser algo diferente.

TABLA 5-A

TIPOS Y MANIFESTACIONES DE LAS FALLAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.			Ref. 3
TIPO	MANIFESTACION	C A U S A S	
FRACTURAMIENTO.	AGRIETAMIENTO	Exceso de carga. Repetición de carga. Cambios de temperatura. Cambios de humedad. Ondulamiento por fuerzas horizontales. Contracción	(Insuficiencia estructural) (Fatiga) (Defecto constructivo) (Deficiencia estructural o defecto constructivo)
	DESTRUCCION POR AGRIETAMIENTO.	Exceso de carga. Repetición de carga. Cambios de temperatura. Cambios de humedad.	(Insuficiencia estructural) (Fatiga) (Defecto constructivo)
DEFORMACION	DEFORMACION PERMANENTE.	Exceso de carga. Proceso de deformación viscosa. Aumento de compacidad	(Insuficiencia estructural) (Fatiga, insuficiencia estructural y defecto constructivo) (Defecto constructivo. Rotura de granos)
	FALLA	Consolidación Expansión Exceso de carga. Aumento de compacidad. Consolidación Expansión	 (Insuficiencia estructural) (Defecto constructivo. Rotura de granos)
DESINTEGRACION (FALLA DE CARPETA)	REMOCION	Pérdida de adherencia en la carpeta. Reactividad química. Abrasión por efecto de tránsito.	
	DESPRENDIMIENTO	Pérdida de adherencia en la carpeta. Reactividad química. Abrasión por efecto de tránsito. Degradación de los agregados.	

TABLA 5-B

PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LOS TRES TIPOS BASICOS DE FALLAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE. Ref. A			
TIPO DE FALLA	TRANSITO	PAVIMENTO	CIMENTACION (APOYO)
FRAGMENTACION	<p>CARGA POR RUEDA (MAGNITUD)</p> <p>REPETICIONES</p> <p>AREA DE INFLUENCIA DE LA CARGA.</p> <p>VELOCIDAD</p> <p>ARREGLO Y DISPOSICION DE RUEDAS Y EJES.</p>	<p>RIGIDEZ DE LAS DIVERSAS CAPAS.</p> <p>FLEXIBILIDAD (ADAPTABILIDAD A LA FATIGA)</p> <p>DURABILIDAD</p> <p>DEFORMACION PLASTICA</p> <p>DEFORMACION ELASTICA.</p>	<p>RIGIDEZ EN BASE Y SUB-BASE</p> <p>DEFORMACION PLASTICA.</p> <p>DEFORMACION ELASTICA.</p>
DEFORMACION.	<p>CARGA POR RUEDA (MAGNITUD)</p> <p>REPETICIONES.</p> <p>AREA DE INFLUENCIA DE LA CARGA.</p> <p>VELOCIDAD.</p> <p>ARREGLO Y DISPOSICION DE RUEDAS Y EJES.</p>	<p>ESPESOR</p> <p>RESISTENCIA.</p> <p>COMPRESIBILIDAD.</p> <p>SUSCEPTIBILIDAD A CAMBIOS DE VOLUMEN</p> <p>DEFORMACION PLASTICA.</p> <p>DEFORMACION ELASTICA.</p>	<p>SUSCEPTIBILIDAD A LOS CAMBIOS DE VOLUMEN.</p> <p>DEFORMACION PLASTICA.</p> <p>DEFORMACION ELASTICA.</p>
DESINTEGRACION (FALLAS DE CARPETAS)	<p>PRESION DE LA LLANTA.</p> <p>REPETICIONES</p> <p>VELOCIDAD.</p>	<p>CARACTERISTICAS DE ASPALTO.</p> <p>CARACTERISTICAS DEL AGREGADO.</p> <p>POROSIDAD FALTA DE ADHERENCIA CON EL - ASPALTO.</p>	<p>RESISTENCIA EN LAS CAPAS DE PAVIMENTO.</p> <p>INFILTRACION DEL AGUA.</p> <p>CAMBIOS DE TEMPERATURA.</p>

Se describen a continuación algunas de las fallas más comunes en los pavimentos flexibles:

A). AGRIETAMIENTO (PIEL DE COCODRILLO).

Este es uno de los daños más típicos a los pavimentos, se denomina rotura tipo piel de cocodrilo o tipo mapa; este agrietamiento se extiende sobre toda la superficie de rodamiento, o por lo menos sobre una parte muy substancial de ella.

Esta condición es indicativa de movimiento excesivo de una o más de las capas o de fatiga, muchas veces en la propia carpeta.

El agrietamiento en "piel de cocodrilo" es común en pavimentos flexibles construidos sobre terracerías resistentes o dentro de los cuales, la sub-rasante muestra resistencia; también es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas. El fenómeno puede ser o no progresivo, cuando lo es, termina en destrucciones locales del pavimento que comienzan por desprendimientos de la carpeta en lugares localizados y en rápida remoción de los materiales granulares expuestos; cuando el fenómeno alcanza estos grados destructivos, puede decirse casi con seguridad que está ligado a deficiencias estructurales en la base.

En países en que el congelamiento es un fenómeno relevante, el agrietamiento es frecuente cuando se utilizan materiales susceptibles; también puede ser indicativo de lugares en que se requiere sub-drenaje.

Al estudiar este tipo de agrietamiento resulta esencial determinar si se trata de un fenómeno evolutivo.

En general, los procesos asociados a envejecimiento y fatiga de la carpeta, progresan muy lentamente, en cambio, son muy rápidas las evoluciones del fenómeno asociadas a deficiencia estructural o exceso de agua. En consecuencia, para definir la evolución futura de un proceso detectado, suelen ser precisos estudios de detalle en el pavimento.

B). DEFORMACION PERMANENTE EN LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO. (SURCOS).

Frecuentemente está asociado a aumento de compacidad en las capas granulares de base o sub-base; debida a su vez, a carga excesiva, carga repetida (aumento de compacidad por vibración) o a rotura de granos; también puede deberse a consolidación en la sub-rasante o aun en el cuerpo de la terracería.

El ancho del surco excede al de la llanta y tiende a

ser mayor en comparación a éste, cuando más profunda sea la cedencia que provoca el fenómeno. La deformación a que se está haciendo referencia, debe distinguirse del surco que se produce por simple desplazamiento lateral de una carpeta defectuosa; la señal distintiva es que en este último caso el material se eleva a los dos lados del surco, en tanto en un surco de origen profundo, éste se produce sin dichas ondulaciones.

C). FALLAS POR CORTANTE.

Están típicamente asociadas a falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o sub-base del pavimento y más raramente en la sub-rasante. Consisten generalmente en surcos profundos, nítidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho de la llanta.

En este caso, suele haber también elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.

D). AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL.

En el desplazamiento de un pavimento puede también tomar lugar esencialmente en una dirección horizontal por

la falta de fricción interna en la base o sub-rasante:

Por ejemplo: una serie de roturas longitudinales que ocurrieron sobre un pavimento construido sobre arena fina. Roturas longitudinales como estas pueden abrirse tanto como 1/2 pulgada, permitiendo infiltración en la superficie.

Roturas de este tipo pueden ser indicativas de acción de heladas o cambios de volumen en el suelo de la sub-rasante, para este último caso, desplazamientos verticales son aparentes; y es posible distinguir entre los tipos y causas del problema en el pavimento. El acumulamiento de sedimentos o el deslizamiento de los lados de las pendientes, pueden causar este tipo de fracturas o desarrollarlas.

E). AFLORAMIENTO.

Afloramiento de las superficies de asfalto; pueden ser causadas por una variedad de factores; incluyendo mucho asfalto en la mezcla; así el asfalto es muy suave para el clima; consolidación de la superficie y otras razones; de cualquier manera, el defecto es debido al tráfico y ocurre en las huellas de las llantas; esto causa problemas de resbalamientos peligrosos para el tráfico.

F). CONSOLIDACION DEL TERRENO DE CIMENTACION.

La consolidación de terrenos de cimentación blandos, puede producir distorsión del pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo.

Un pavimento flexible construido sobre un depósito de fango, por ejemplo, podría presentar áreas depresionadas, pero como regla general, las áreas serán relativamente largas y serán suavemente onduladas, mejor dicho, que rompimientos puntiagudos.

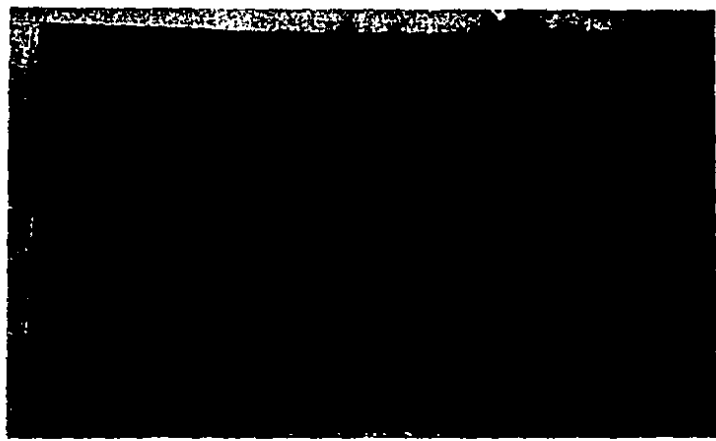
Fallas por cortante causarán también fracturas, las cuales se desarrollarán en una forma semicircular sobre la superficie del pavimento; desplazamientos de este tipo son la primera evidencia para la formación de fracturas sobre la corona de la pendiente; así las fracturas formando un plano semicircular o longitudinal sobre un pavimento, deberán investigarse como posibles movimientos de las pendientes.

El problema en pavimentos puede resultar de una condición adversa del agua del suelo; la cual se puede revertir en un subgrado de debilidad; el remedio para esta condición requiere el remover el agua cerca de su fuente; una reemplazada menor no mejorará la situación por un periodo dado

que las condiciones adversas se presentarán y el pavimento deberá ser reparado.

ROTURA TIPO "PIEL DE COCODRILO".

Ref. 5.

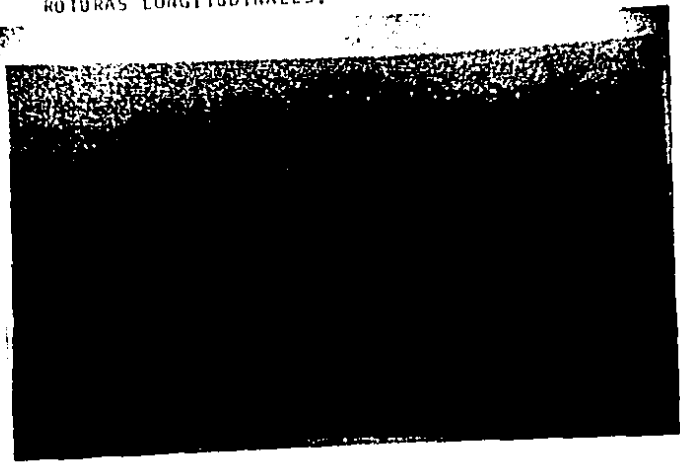


FALTA PER LORIANTE.

Ref. 6.

ROTURAS LONGITUDINALES.

Ret. 7.



COMPLETADO POR DESPACHO.

Ret. 8.

CAPITULO VI

**TIPOS DE FALLAS MAS COMUNES
EN PAVIMENTOS RIGIDOS**

TIPOS DE FALLAS MAS COMUNES EN PAVIMENTOS RIGIDOS

Problemas de pavimentos rígidos pueden ser debido a dos causas:

La primera es deterioración o deficiencia del propio pavimento; estas deterioraciones podrían ser atribuidas al congelamiento o al deshielo; el uso de materiales no durables a reacción de materiales alcalinos, a reacciones resultantes del uso de sales, debido a la remoción de hielo y a una variedad de otras causas.

Problemas de pavimentos rígidos resultan también del impropio uso del alineador, alabeo, rebordeo y contracción y expansión de esfuerzos.

La otra categoría se refiere a la adecuada estructuración del pavimento-base-estructura de la sub-rasante. Aquí una sobrecarga puede ser evidencia del bombeo de agua o esquinas rotas, juntas falladas y otros defectos.

Cuando se clasifican pavimentos es necesario distinguir entre estos tipos básicos de problemas.

Los siguientes párrafos describen algunos tipos más comunes de falla; sin embargo, los problemas que se presen-

tan en un pavimento rígido puede ser debido a una combinación de algunas causas, el efecto de muchos factores puede ser completamente variable.

A). DURABILIDAD DEL CONCRETO.

Una causa común de problemas en pavimentos rígidos es la desintegración del concreto debido al uso de materiales no durables y/o condiciones climatológicas, un deterioro de borde; este tipo de rotura es progresiva por naturaleza y gradualmente cubrirá, incrementándose, largas áreas hasta llegar cerca de la completa deterioración. Este tipo de problema es fácilmente distinguido del rompimiento estructural; esto consiste de características semicirculares de rompimientos de raya fina con espaciamiento cercano típicamente incrementado en las juntas y en los bordes del pavimento.

B). ESCAMEO.

Escameo en el concreto, puede resultar de una variedad de causas, incluyendo: mezclas, las cuales son muy húmedas; agregado sucio, el cual causa que la arcilla y los sedimentos se precipiten al fondo durante el proceso de terminado; el uso de sales para el control de hielo y el sobre terminado del borde.

El escameo es fácilmente reconocido y podría indicar una deteriorización del concreto; sin embargo, desde un punto de vista estructural no se han encontrado serios efectos.

Deterioración del concreto por el uso de químicos para el control del hielo, puede -sin embargo- sobre un periodo de años, causar averías; las cuales podrían afectar la capacidad estructural del pavimento.

C). FRACTURAS POR CONTRACCION.

Estas son resultado de la contracción del concreto durante el período de curado; estas fracturas son fáciles de distinguir, las cuales son generalmente cortas y espaciadas aleatoriamente en ambas direcciones transversal y longitudinalmente.

D). CONGELADO. BARRAS TIPO "CLAVIJA". (CLAVIJAS CONGELADAS).

Una limitación de esfuerzos podrían resultar cuando estas clavijas están impropriamente alineadas o lubricadas o que no permiten libertad de movimiento, tanto de expansión como de contracción de la losa; este tipo de defectos es generalmente notado por una astilla que existe en un lado

de la losa; las fracturas son debidas a un esfuerzo cortante, el cual resulta durante los ciclos de expansión.

Dado que las clavijas no están en libertad de moverse, resultan fracturas y astillamientos.

E). FRACTURAS POR ABOMBAMIENTO.

Cuando son construidas las losas de pavimento sin juntas longitudinales de bisagra, generalmente ocurren fracturas de una manera aleatoria; las fracturas son debido al abombamiento, el cual produce un alto esfuerzo en el centro de la losa; del mismo modo las condiciones de carga tienden a agravar las ocurrencias de la fractura.

Como regla general, fracturas por abombamiento no son serias, particularmente si se usa acero por temperatura; la primera objeción para el plano de fracturas es una apariencia desagradable y la confusión para el conductor respecto a la primera posición de la línea del centro.

Fallas por abombamiento, pueden también ocurrir en una dirección transversal si se usan losas largas, pero ello no será determinado tan lejos como la transferencia de carga, la cual es provocada por el acero para temperatura y la fibra entrelazada.

F). SOPLADO Y BOMBEO.

Factores que afectan soplado y bombeado de pavimentos rígidos; así como factores que se elevan desde la acción con respecto al bombeo de suelos de grano fino, removidas del soporte de la sub-rasante. Mediante el bombeo resultan fracturas transversales.

G). ROTURAS ESTRUCTURALES.

Roturas estructurales son el resultado de una sobrecarga o fatiga; estas fallas toman la forma de roturas en esquina, fallas longitudinales o transversales; estas fracturas son tal vez las más difíciles de evaluar, particularmente si el astillado y/o escameo ocurre, porque estas oscurecen el análisis.

Como una regla general, estas fracturas ocurren relativamente cerca de una junta; son probablemente fallas estructurales; cuando ocurren en el centro de la losa son debido a abombamiento y/o contracción; sin embargo, esta declaración deberá ser modificada sobre la base del conocimiento de las condiciones de la sub-rasante, tipo de concreto, agregados y condiciones climatológicas.

H). VOLADURAS.

Puede ocurrir en las juntas de un pavimento; en pavimentos de concreto que están sujetos a esfuerzos compresivos sin embargo, juntas de expansión son raramente usadas en carreteras, dado que ellas son particularmente favorables al bombeo; además, si las juntas de contracción son propiamente espaciadas y mantenidas con regularidad; si suficiente espacio es proporcionado a estas juntas; si estas juntas sin embargo llegan a atascarse y llenarse de arena u otro material incompresible (por ejemplo operaciones de deshielo) estas voladuras pueden ocurrir.

Son particularmente notadas en algunos pavimentos después de ser vueltos a alisar, estas protuberancias son un perjuicio para el conductor público; y si estas voladuras cercamente espaciadas constituyen una rotura funcional de la carretera.

Métodos para combatir este problema incluyen el uso de juntas para alivio de presión, limpieza de juntas, etc.

I). MAL FUNCIONAMIENTO DE JUNTAS.

Se tiene cuando estas faltan o se espacian en demasia a lo largo de un trecho importante del pavimento. Naturalmente

te, el concreto crea por agrietamiento sus propias juntas de contracción y expansión, pero estas grietas se disponen a espaciamientos irregulares, dando al pavimento una apariencia deteriorada, que generalmente no corresponde a una verdadera deficiencia estructural; en el sentido de que las grietas formadas liberan los esfuerzos y trabajan, en principio, como verdaderas juntas; el comportamiento puede no ser tan satisfactorio a largo plazo, pues las grietas carecen de todo tratamiento o de los rellenos plásticos apropiados, de manera que en ellas el concreto se va disgregando, pulverizando y ejerciendo una acción autoabrasiva que puede llegar a agrandar las grietas más allá de lo conveniente, pudiendo llegar a presentarse en ellas también fenómenos de bombeo.

J). MOVIMIENTOS DEL TERRENO DE CIMENTACION O DE ESPESORES.

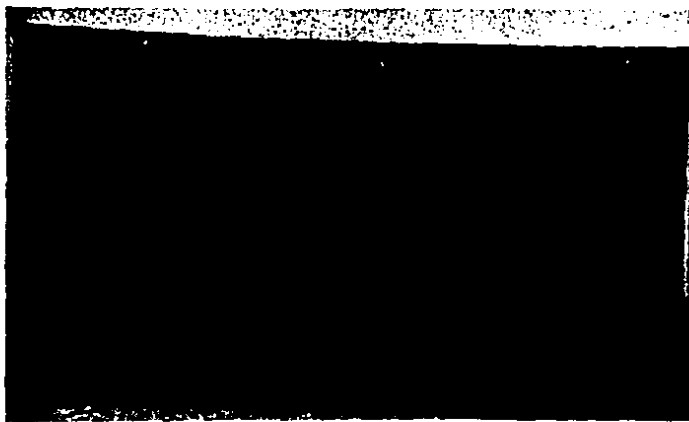
Importantes de material de terracería compresible, conducen al agrietamiento de las losas cuando los asentamientos diferenciales son importante en trechos cortos y ocurren con rapidez.

También es relativamente común que las grietas que por esta causa se pueden llegar a producir, no lleguen a plantear graves deficiencias en el funcionamiento del

pavimento, especialmente si se van sellando apropiadamente a medida que se producen.

CONGELADO "BARRAS TIPO CLAVIJA".

Ref. 9

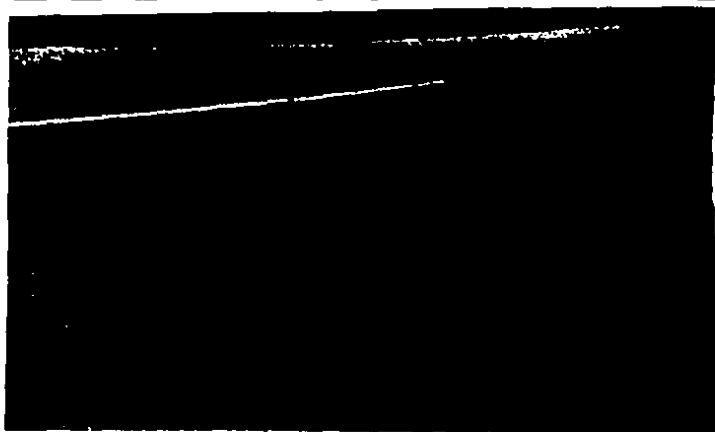


PREPARADO POR MUHAMMAD 410.

Ref. 10

DE INTEGRACION DEL CONCRETO DEBIDO AL USO DE
MATERIALES NO DURABLES.

Ref. 11



ESCAMOTEO

Ref. 12

ROTURAS ESTRUCTURALES.

Ref. 13



FRACTURAS POR CONTRACCION.

Ref. 14

DESPLAZAMIENTO DE CIMENTACION PROFUNDA.

Ref. 15



JUNTAS DEFECTUOSAS.

Ref. 16

CAPITULO VII

TECNICAS DE RECONSTRUCCION O REFUERZO

TECNICAS DE RECONSTRUCCION O REFUERZO

Los problemas de rehabilitación de pavimentos pueden ser inmensamente variados y van desde la colocación de riegos de rejuvenecimiento o construcción de sobrecarpetas, hasta reconstrucciones integrales; también han de considerarse los problemas emanantes de las ampliaciones de sección.

Las rehabilitaciones por incremento normal del tránsito, suelen resolverse con el empleo de sobrecarpetas, en tanto que la reconstrucción será necesaria en pavimentos que muestren indicios de falla, consistentes en la aparición de deformaciones excesivas; o en niveles muy elevados de deflexión, detectada con los instrumentos de que hoy se dispone.

Las siguientes son las principales normas de criterio para definir la necesidad de una rehabilitación.

A). NIVEL DE SERVICIO.

Este concepto variará con el tipo de vía terrestre.

B). CONDICION ESTRUCTURAL.

Se refiere a la capacidad del pavimento de soportar las cargas de tránsito en la actualidad y seguirlo haciendo

en el futuro próximo.

C). CONDICIONES DE LA SUPERFICIE.

La apariencia del pavimento (deformaciones, grietas, etc.), no necesariamente está ligada a la capacidad estructural y desde luego, no lo está por una relación única y sencilla; si bien es cierto que una falta de capacidad estructural se reflejará rápidamente en la apariencia del pavimento.

D). SEGURIDAD.

Este concepto será valuado en base a las estadísticas de accidentes.

E). CÔSTO.

Se refiere no sólo a la erogación necesaria para pagar la rehabilitación, sino también a los costos de conservación y de operación a que se llegue.

La tabla siguiente es para efectuar el levantamiento de deterioros de pavimentos flexibles.

En relación con los pavimentos rígidos a los cuales se les había dado poca atención al problema de valuación de su estado y su comportamiento; los pavimentos se dividían en satisfactorios y necesitados de reparación, pero no existía ninguna metodología sistemática en torno al concepto de comportamiento, nivel de servicio, reparación programada.

Es realmente importante hacer estudios de valuación, haciendo pruebas que no destruyan al conjunto del pavimento. Esto puede lograrse con mediciones sobre la superficie del pavimento, con tal de que se conociese bien lo que tales mediciones representan en cuanto a las características estructurales que interesan.

Uno de los métodos que se seleccionaron en este estudio es en el que se mide la respuesta estructural del pavimento a una carga estática predeterminada o a la aplicación de una carga conocida en movimiento lento. (Se mide generalmente la deflexión en la superficie del pavimento).

Es así como la VIGA BENKELMAN tiene un amplio campo de aplicación en los pavimentos rígidos, así como en los pavimentos flexibles. Se trata de establecer el nivel de deflexión que indique la necesidad de efectuar trabajos de refuerzo o reconstrucción.

A continuación se describe el procedimiento que debe

seguirse para la medición de deflexiones con la Viga Benkelman:

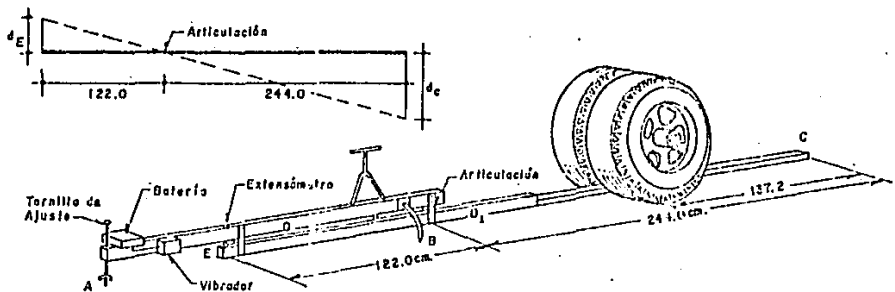
La Viga Benkelman se muestra esquemáticamente en la Figura 7-A.

Un brazo "B" fijo se sitúa nivelado sobre el pavimento apoyado en tres puntos (un punto "A" y dos puntos "B"), un brazo móvil "D" está acoplado al brazo fijo por una articulación rotatoria en el punto que se señala.

Cuando las llantas de un camión cargado se colocan de manera que el punto "C" del brazo móvil quede centrado entre ellas (nótese que no es la posición que se muestra en el esquema), dicho punto bajará una cierta cantidad por la deformación provocada en el pavimento por el peso de las llantas. Por tal causa el brazo "D" girará en torno a la articulación con respecto al brazo "B", previamente nivelado (se supone que las dimensiones de la viga son tales que la posición del brazo "D" no es afectada por la deformación causada por las llantas) y de esta manera el extensómetro que se señala hará una lectura, si se retiran ahora las llantas cargadas, el punto "C" se recuperará en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior el extensómetro hará otra lectura.

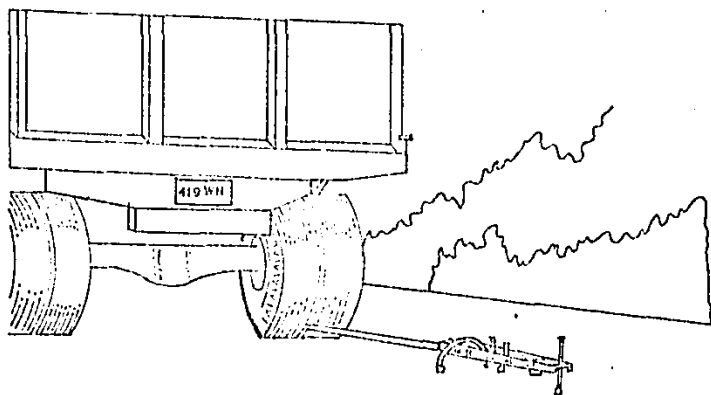
Con las dos lecturas del extensómetro es posible saber cuánto se movió el punto en la operación y con la geometría de la viga se obtendrá correspondientemente la recuperación elástica "C" al quitar las llantas, tal como se ilustra en el croquis operativo que aparece en la misma Figura 7-A. Nótese que en realidad se ha medido la recuperación de "C" al remover la carga y no la deformación al colocar ésta.

Por lo que se refiere al equipo a utilizar para la medición de las deflexiones, ha de estar basado en su disponibilidad, costo y necesidades de avance; el costo de la Viga Benkelman es considerablemente menor que el Deflectógrafo dinámico tipo Dynaflect (es un sistema electromecánico que mide la deflexión dinámica de la superficie del pavimento cuando se le aplica una carga oscilatoria), pero la rapidez y eficiencia en la determinación de las lecturas de deflexión que puede lograrse con este último equipo, es mucho mayor que una Viga Benkelman.



ESQUEMA DEL DEFLECTOMETRO BENKELMAN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
 ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON
 FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO
 Thalía Lilián Pacheco Gallagos.



Operación con viga Benkelman

Ref. 19

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON
FINES DE RECONSTRUCCIÓN O REFUERZO
Thelmo Lilián Pacheco Gallagos.

Como complemento a la información anterior y para un mejor entendimiento de los datos expuestos, se presenta un ejemplo facilitado por la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes de Guadalajara, Jal.), en la obra realizada en el tramo Betania - Zapotlanejo en el estado de Jalisco.

El procedimiento es el siguiente: Se hace un análisis de tránsito en el camino determinado, en nuestro caso es el tramo Betania-Zapotlanejo, en la carretera Irapuato-Guadalajara y se considera el tránsito diario promedio anual (R.D.P.A.), en dicho análisis de tránsito se hace la clasificación del vehículo, la distribución del tránsito y obtenemos el peso por eje, tomando en cuenta el número de ejes, tipo, peso en toneladas y de esta manera se obtiene el factor de equivalencia a ejes de 8.2 Ton. (Tablas Pág. 122 y 123), para así obtener ejes equivalentes de 8.2 ton.

Para el primer punto tenemos un vehículo A2 (automóvil) con una distribución de tránsito de 349.1 (N. de vehículo por cada 1,000), el peso por eje quesaría:

No.	TIPO	Ton.
1	S	1
2	S	1

Para el factor de equivalencia en la tabla de la

página 121 tenemos que para 1 Ton. y eje S, el factor de equivalencia es: 0.13 y con este factor ya se puede determinar los ejes equivalentes de 8.2 Ton. que sería:

$$349.1 \times 0.13 = 4.54$$

Y así por cada tipo de vehículo.

Por ejemplo, para el primer estudio que fue del km. 147 + 800 al 147 + 500 (Pág. 104), se obtuvieron en 16 cadenamientos una media y una desviación estándar de $\bar{x} = 18.37 \times 10^{-3}$ pulg. y $s = 6.74 \times 10^{-3}$ pulg.

Con estos valores podemos calcular la deflexión característica que es igual a $\bar{x} + 2s$, obteniendo con estos valores el TEA (Tránsito Equivalente Acumulado) como sigue:

Con el TDPA = 6353 y con el factor de equivalencia de 8.2 Ton., se determinó el valor de 1.6/1 veh. (Pág.).

Calculando el ITN (Número de Tránsito Inicial) que es:

$$ITN = \frac{TDPA}{2} \times 1.6 \times 365$$

ITN = Número de Tránsito Inicial.

TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual.

365 = Días del año.

$$ITN = \frac{6353}{2} \times 1.6 \times 365 = 1855076$$

Y con una tasa de crecimiento en función de un crecimiento de población y datos estadísticos, de acuerdo a la S.C.T., tenemos un valor de:

$$r = 8 \%$$

Y se calculó el factor de expansión:

$$Fe = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Fe = Factor de expansión.

r = Tasa de crecimiento.

n = Período de diseño.

Consideramos: $r = 8 \%$.

y tres periodos de diseño de 5, 10, 15, años, por lo tanto:

$$Fe_5 = \frac{(1 + 0.08)^5 - 1}{0.08} = 5.86$$

$$Fe_{10} = \frac{(1 + 0.08)^{10} - 1}{0.08} = 14.46$$

$$Fe_{15} = \frac{(1 + 0.08)^{15} - 1}{0.08} = 27.15$$

Ya con el factor de expansión, tenemos:

$$TEA = ITN \times Fe$$

$$TEA_5 = 10.8 \times 10^6$$

$$TEA_{10} = 26.8 \times 10^6$$

$$TEA_{15} = 50.3 \times 10^6$$

Con estos datos y de acuerdo con la gráfica que determina el espesor de carpeta asfáltica requerida para reducir la deflexión medida sobre el pavimento a un valor de diseño. (I. del asfalto 1982. Pág. 124) Para el primer valor tenemos una deflexión característica de:

$$\bar{x} + 2\sigma = 0.31 \text{ y un TEA} = 10.87 \times 10^6$$

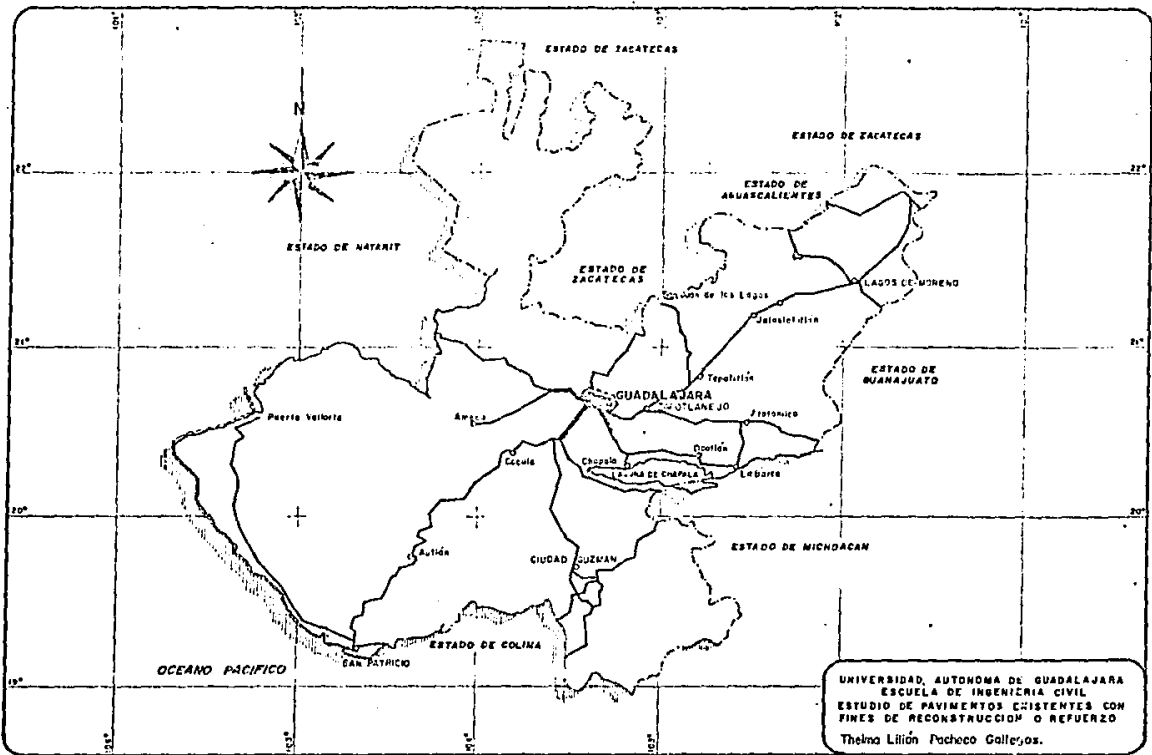
Y entramos en la gráfica obteniendo un espesor de 8.7 cm. (indicado con la línea punteada), así para cada uno y ya con los espesores y el km., se grafica y con los puntos

más cercanos a una recta imaginaria, se obtiene un promedio y ese será el espesor requerido, en el primer caso de un periodo de 5 años, tenemos los valores, que son: (Pág. 127).

$$\text{Espesor (cm). } 10 + 14 + 14 + 14 + 13.5 + 13.20 + 13.20 + 11.0 + 14.0 + 10.0 = 126.9$$

$$\text{Promedio aprox. } = 13 \text{ cm. } \quad n = 10 \text{ (puntos).}$$

Y así para $n = 10$ años y $n = 15$ años, se obtuvo un espesor promedio de 20 cm. y 22 cm. respectivamente.



PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carretera Irapuato-Tampulame TRAMO: Autotrasporte-Zapotlaneja ENSAYES: _____

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Gallegos FECHA: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L I C U L O				SEMI DIAMETRO DE LA DEFLEXION EN: Capota	OBSERVACIONES
				LECTURA EN EL CARRIL	LECTURA EN EL PAS METRO	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	$\frac{1}{2} \times$ DIFERENCIA	$\frac{1}{2} \times$ DIFERENCIA	$\frac{1}{2} \times$ DIFERENCIA		
152.000	Unico	Der	Ext			69	53	15	39	900	1.60	Terraplén	
020	"	"	"			44	28	16	32	1024	1.60	"	
040	"	"	"			88	74	13	26	676	1.70	"	
060	"	"	"			69	50	19	34	1444	1.40	"	
080	"	"	"			95	76	19	38	1444	1.60	"	
100	"	"	"			115	53	22	44	1738	1.70	"	
120	"	"	"			110	92	18	36	1296	1.60	"	
140	"	"	"			114	96	18	36	1296	1.70	"	
160	"	"	"			17	01	16	32	1024	1.10	"	
180	"	"	"			35	19	16	32	1024	1.80	"	
200	"	"	"			71	51	20	40	1600	1.80	"	
220	"	"	"			36	20	15	30	900	1.50	"	
240	"	"	"			34	20	14	28	784	1.90	"	
260	"	"	"			72	53	19	38	1444	1.50	"	
280	"	"	"			115	97	18	36	1296	1.80	"	
300	"	"	"			41	20	21	42	1764	1.30	"	
				n=10									
				$\bar{X}=34.87$	$\times 10^{-3}$	Pulg.							
				$S=5.11$	$\times 10^{-3}$	Pulg.							
				$\bar{X}SDD=$	1.61Ht								

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carretera Irapuato-Guadalupe TRAMO: Atonilco-Papetlan

ENSAYES: _____

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Callejas FECHA: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		CALCULO			RENTANCIAS DE LA DEFLEXION PPL.	OBSERVACIONES
				TEMPERATURA EN EL ELAST.	TEMPERATURA EN EL RODADO	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	FX DIFERENCIA	X 2 X 10 - 6		
156+000	Unico	Izq.	Ext.			61	64	17	34	1156	2.30	Terraplén
156+980	"	"	"			50	39	11	22	484	1.80	"
960	"	"	"			31	04	27	54	2916	2.10	"
940	"	"	"			12	47	15	30	900	3.00	"
920	"	"	"			114	96	11	36	1296	1.90	"
900	"	"	"		REPETIDA	"	"	"	"	"	"	PUENTE
880	"	"	"			118	98	20	40	1600	2.30	"
860	"	"	"			15	11	14	28	784	2.00	"
840	"	"	"			22	07	15	30	900	3.10	"
820	"	"	"			109	98	10	20	400	2.60	"
800	"	"	"			41	23	18	36	1296	3.60	"
780	"	"	"			68	57	11	22	484	2.70	"
760	"	"	"			65	50	15	30	900	2.00	"
740	"	"	"			20	24	14	28	784	1.10	"
720	"	"	"			94	80	14	28	784	2.70	"
700	"	"	"			47	27	20	40	1600	2.70	"
					n=15							
					$\bar{x}=31.86 \times 10^{-3}$	Pulg.						
					$s=11.56 \times 10^{-3}$	Pulg.						
					XSDD=	2.51 MU						

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carretera Irapuato-Guadalupe TRAMO: Atotonilco-Zapotlanero

ENSAYES: _____

OPERADOR: Teófilo L. Pacheco Gallegos FECHA: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			SEMI DIAMETRO DE LA DEPLEXION CM.	OBSERVACIONES
				ALFOMBRAS EN EL CARRIL	INTERVALO EN CM. PAVIMENTO	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	X DIFERENCIA	X 2 DIFERENCIA		
100+000	Huleco	Der	Ext			61	37	24	48	2304	1.60	Terraplen
020	"	"	"			118	98	20	40	1600	2.50	
040	"	"	"			116	92	24	48	2304	2.30	
060	"	"	"			34	05	29	58	3364	2.00	
080	"	"	"			125	99	26	52	2704	1.80	
109	"	"	"			70	49	21	42	1764	2.00	
120	"	"	"			102	80	22	44	1936	1.80	
140	"	"	"			76	11	15	30	900	2.00	
160	"	"	"			14	04	10	20	400	1.80	
180	"	"	"			30	07	23	46	2116	2.00	
200	"	"	"			111	90	21	42	1764	2.00	
220	"	"	"			78	55	23	46	2116	2.10	
240	"	"	"			115	94	21	42	1764	1.90	
260	"	"	"			110	91	19	38	1444	1.80	
280	"	"	"			80	66	14	28	784	2.60	
300	"	"	"			79	62	17	34	1156	1.90	
				n=16								
				$\bar{X}=41.12 \times 10^{-3}$	Pulg.							
				$\sigma=9.52 \times 10^{-3}$	Pulg.							
				$\bar{X}SDD= 2.00$	Ht							

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carratera Irapuato-Guadalupe TRAMO: Atotonilco-Zapotlanajo

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Gallegos

FECHA: _____

ENSAYES: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			SEMI-DIAMETRO DE LA DEFLEXION mm.	OBSERVACIONES Carpeta
				ANTES EN EL CARRIL	DESPUES EN EL PASADIZO	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	% DIFERENCIA	$\times 2 \times 10^{-6}$		
172+000	Unico	Inq	Ext			01	59	22	44	1936	1.00	terraplen
171+980	"	"	"			01	39	22	44	1936	1.10	"
960	"	"	"			45	21	24	48	2304	1.20	"
940	"	"	"			102	78	24	48	2304	1.00	"
920	"	"	"			87	59	23	46	2116	1.00	"
900	"	"	"			80	65	15	30	900	2.00	"
880	"	"	"			60	50	10	20	400	2.10	"
860	"	"	"			47	34	13	26	676	1.70	"
840	"	"	"			40	23	17	34	1156	1.70	"
820	"	"	"			60	44	16	32	1024	1.50	"
800	"	"	"			27	09	18	36	1296	1.70	"
780	"	"	"			09	79	20	40	1600	1.60	"
760	"	"	"			97	76	21	42	1764	1.40	"
740	"	"	"			26	04	22	44	1936	1.50	"
720	"	"	"			93	73	20	40	1600	1.60	"
700	"	"	"			107	84	19	38	1444	1.70	"
				n=16								
				$\bar{x} = 38.25 \times 10^{-3}$		Pulg.						
				$\sigma = 8.09 \times 10^{-3}$		Pulg.						
				$\bar{x}_{SDD} = 1.48 \text{ It}$								

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carretera Irapuato-Guadalupe TRAMO: Atotonilco-Zapotlan 2

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Calleja FECHA: _____

ENSAYES: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			SEMI DIAPETRO DE LA DEFLEXION ORI.	OBSERVACIONES
				AMBAS EN LA LINDA	AMBAS EN EL RODADO	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	$\frac{1}{2} \times$ DIFERENCIA	$\frac{1}{2} \times 10^{-6}$		
176+00	Unico	Der	Fxt			113	91	22	44	1936	2.00	Terraplén
020	"	"	"			41	12	29	58	3364	1.60	"
040	"	"	"			07	64	23	46	2116	2.60	"
060	"	"	"			78	53	25	50	2500	2.30	"
080	"	"	"			49	15	25	50	2500	1.90	"
100	"	"	"			50	30	20	40	1600	2.70	"
120	"	"	"			54	39	16	32	1024	2.30	"
140	"	"	"			116	95	21	42	1764	2.50	"
160	"	"	"			36	15	16	32	1024	2.50	"
180	"	"	"			69	44	25	50	2500	2.50	"
200	"	"	"			41	23	18	36	1296	3.50	"
220	"	"	"			65	50	15	30	900	2.70	"
240	"	"	"			93	68	25	50	2500	2.70	"
260	"	"	"			92	75	17	34	1156	2.30	"
280	"	"	"			63	43	20	40	1600	2.90	"
300	"	"	"			70	50	20	40	1600	1.90	Alcantarilla"
				n=16								
				$\bar{X}=42.13$	$\times 10^{-3}$	Pulg.						
				$C = 8.11$	$\times 10^{-3}$	Pulg.						
				$\bar{X}_{SDD} = 2.36$	Mm.							

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carretera Irapuato-Guadaluajara TRAMO: Atotonilco-Zapotlanejo

ENSAYES: _____

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Gallegos FECHA: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			SEMI DIAMETRO DE LA DEFLEXION EXP.	OBSERVACIONES
				AMBIENTE EN EL LUGAR	NEUMOS EN EL PUNTO DE MEDIDA	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	Σ DIFERENCIA	Σ 2 DIFERENCIA		
100-000	Unico	I2q	Ext			122	96	26	52	2704	2.00	Terraplén
170-990	"	"	"			124	96	29	58	3364	2.20	"
960	"	"	"			37	07	30	60	3600	2.30	"
940	"	"	"			43	21	22	44	1936	2.30	"
920	"	"	"			40	13	27	54	2916	1.90	"
900	"	"	"			110	84	26	52	2704	2.60	"
880	"	"	"			24	0	24	48	2304	2.10	"
860	"	"	"			86	61	25	50	2500	2.00	"
840	"	"	"			96	72	24	48	2304	2.70	"
820	"	"	"			104	77	27	54	2916	2.70	"
800	"	"	"			75	50	25	50	2500	1.90	"
780	"	"	"			102	76	26	52	2704	1.90	"
760	"	"	"			76	55	21	42	1764	1.90	"
740	"	"	"			24	0	24	48	2304	2.40	"
720	"	"	"			64	36	28	56	3136	2.50	"
700	"	"	"			110	88	22	44	2025	3.30	"
				n=16								
				$\bar{X}=50.0$	$\times 10^{-3}$	Pulg.						
				$\sigma=5.05$	$\times 10^{-3}$	Pulg.						
				$\bar{X}SD=$	2.46	Mm.						

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carpeta Inpuata-Guadalupe TRAMO: Atotonilco-Guadalupe

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Gallego FECHA: _____

ENSAYES: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			SEMI DIAMETRO DE LA DEFLACION mm.	OBSERVACIONES
				ANTES DE EL LUGAR	DESPUES DE EL PAVIMENTO	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	2da DIFERENCIA	A E A I D - n		
188+500	Unico	Izq	Ext			79	67	12	24	576	1.50	Terraplén
490	"	"	"			53	34	19	40	2004	1.50	"
460	"	"	"			49	26	23	45	2116	1.40	"
440	"	"	"			50	23	27	54	2016	1.40	"
420	"	"	"			113	89	26	50	2000	1.00	"
400	"	"	"			103	79	24	49	2004	1.00	"
380	"	"	"			47	24	23	46	2116	1.00	"
360	"	"	"			108	90	18	36	1296	1.70	"
340	"	"	"			63	47	26	52	2704	1.00	"
320	"	"	"			49	32	17	34	1156	1.00	"
300	"	"	"			108	87	21	42	1764	1.30	"
280	"	"	"			41	21	20	40	1600	1.00	"
260	"	"	"			102	87	15	30	900	1.50	"
240	"	"	"			75	63	22	44	1936	1.00	"
220	"	"	"			79	58	21	42	1764	1.00	"
200	"	"	"			39	17	22	44	1936	1.70	"
				n=16								
				$\bar{x}=42.5 \times 10^{-3}$	Pulg.							
				$s=8.12 \times 10^{-3}$	Pulg.							
				$s_{SD} = 1.52$	mm							

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carretera Tepic-Tonalá TRAMO: Atotonilco-Tonalá

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Gallardo FECHA: _____

ENSAYES: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			SEMI DIAMETRO DE LA DEFLEXION EN EL PUNTO	OBSERVACIONES
				ANTES DE EL CARRIL	DESPUES DE EL RODADO	INICIAL	FINAL	DEFERENCIA	EX DEFERENCIA	X E 10 - 6		
193.000	Unico	Der	Ext			51	32	22	44	1926	1.60	Terraplén
02C	"	"	"			41	19	12	24	576	1.60	"
04C	"	"	"			118	99	19	39	1444	1.50	"
06C	"	"	"			107	86	21	42	1764	1.80	"
08C	"	"	"			54	31	23	46	2116	1.60	"
10C	"	"	"			69	46	23	46	2116	1.60	"
12C	"	"	"			85	65	20	40	1600	2.00	"
14C	"	"	"			96	70	26	52	2704	1.60	"
16C	"	"	"			25	05	20	40	1600	1.90	"
18C	"	"	"			80	54	26	52	2704	1.40	"
20C	"	"	"			90	63	27	54	2916	1.80	"
22C	"	"	"			58	35	23	46	2116	2.50	"
24C	"	"	"			82	50	32	64	4096	1.40	"
26C	"	"	"			69	40	29	58	3364	2.30	"
28C	"	"	"			107	81	26	52	2704	1.80	"
30C	"	"	"			86	59	27	54	2916	1.40	"
				n=16								
				$\bar{x}=47.0$	$\times 10^{-3}$	Pulg.						
				$\sigma=9.40$	$\times 10^{-3}$	Pulg.						
				\bar{x}_{SDD}	1.73	mm						

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

OBRA: Carretera Irapuato-Guadalajara TRAMO: Atotonilco-Zapotlanejo

ENSAYES: _____

OPERADOR: helma L. Pacheco Galleon FECHA: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			SEMI-DIAMETRO DE LA DEFLEXION mm.	OBSERVACIONES Carpetas
				EN EL LUGAR	INTERIOR DE EL PASENTO	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	EN DIFERENCIA	X 2 X 10 - 4		
197+000	Unico	Izq	Ext			56	37	19	38	1444	2.50	Terraplén
080	"	"	"			80	62	18	36	1296	1.20	"
060	"	"	"			110	89	21	42	1764	1.30	"
040	"	"	"			46	69	17	34	1156	1.40	"
020	"	"	"			74	55	19	39	1444	1.50	"
000	"	"	"			25	04	21	42	1764	1.80	"
196+980	"	"	"			93	72	21	42	1764	1.50	"
960	"	"	"			113	92	21	42	1764	2.30	"
940	"	"	"			84	65	19	33	1444	1.40	"
920	"	"	"			105	88	17	34	1156	1.80	"
900	"	"	"			51	34	17	34	1156	2.60	"
880	"	"	"			55	35	20	40	1600	2.00	"
860	"	"	"			38	08	20	40	1600	1.70	"
840	"	"	"			66	45	21	42	1764	1.70	"
820	"	"	"			92	70	22	44	1936	1.70	"
800	"	"	"			62	38	24	48	2304	2.30	"
						n=16						
						$\bar{X}=39.6 \times 10^{-3}$	Pulg.					
						$S=3.94 \times 10^{-3}$	Pulg.					
						$X_{SDD}=1.92$	Mts					

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

CDRA: Carretera Irapuato-Guadalupe TRAMO: Atotonilco-Explotación

ENSAYES: _____

OPERADOR: Theba L. Pacheco Gallardo FECHA: _____

K m.	CUERPO	CARRIL	RODADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			SEMI DIAMETRO DE LA DEPLETION cm.	OBSERVACIONES Carpetas
				EN EL CARRIL	EN EL RODADO	INICIAL	FINAL	DIFERENCIA	DIFERENCIA	X ± 10 - 6		
200.00	Unico	Der	Ext			32	78	14	28	784	2.00	Terraplén
020	"	"	"			115	98	19	38	1444	1.50	"
040	"	"	"			98	74	16	32	1024	1.40	"
060	"	"	"			30	12	18	36	1296	1.40	"
080	"	"	"			80	59	21	42	1764	1.40	"
100	"	"	"			103	85	18	36	1296	1.70	"
120	"	"	"			74	52	22	44	1936	1.60	"
140	"	"	"			112	88	24	48	2304	2.60	"
160	"	"	"			53	34	19	38	1444	1.30	"
180	"	"	"			43	26	17	34	1156	1.80	"
200	"	"	"			92	78	14	28	784	1.90	"
220	"	"	"			90	73	17	34	1156	1.80	"
240	"	"	"			98	79	19	38	1444	1.30	"
260	"	"	"			22	01	21	42	1764	1.90	"
280	"	"	"			97	80	17	34	1156	1.50	"
300	"	"	"			109	91	18	36	1296	1.70	"
				n=16								
				$\bar{X} = 36.75 \times 10^{-2}$ Pulg.								
				$S = 5.40 \times 10^{-2}$ Pulg.								
				$\bar{X}_{SDD} = 1.67$ Met.								

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

CERRA: Carretera Itapinto-Guadaluajara TRAMO: Atotonilco-Zapotlanajo

ESTADOS:

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Gallegos LOMA:

K.M.	CORPOCARRIL			TEMPERATURA		LECTURAS		CALCULO				VALOR MEDIO DE LA DEFLEXION	OBSERVACIONES
	Unico	Der.	Izq.	TEMPERATURA DEL CARRIL	TEMPERATURA DEL CARRO	INICIAL	FINAL	DEFLEXION EN	DEFLEXION EN	DEFLEXION EN	DEFLEXION EN		
204.400	Unico	Der.	Izq.			50	32	18	35	1296	1.00	Terraplén	
380	"	"	"			78	65	13	26	676	1.20	"	
360	"	"	"			109	95	14	28	784	1.70	"	
340	"	"	"			109	92	17	34	1156	1.30	"	
320	"	"	"			100	89	11	22	484	1.80	"	
300	"	"	"			60	46	14	23	784	1.20	"	
280	"	"	"			58	41	17	34	1156	1.60	"	
260	"	"	"			64	49	15	30	900	2.30	"	
240	"	"	"			57	45	12	24	576	2.00	"	
220	"	"	"			14	03	11	22	484	1.60	"	
200	"	"	"			22	08	14	28	784	1.40	"	
180	"	"	"			17	0	17	34	1156	1.50	"	
160	"	"	"			20	09	11	22	484	1.80	"	
140	"	"	"			13	03	10	20	400	1.60	"	
120	"	"	"			97	82	10	20	400	1.50	"	
100	"	"	"			108	99	09	18	324	1.40	"	
					n=16								
					$\bar{X} = 26.0 \times 10^{-3}$	Pulg.							
					$S = 5.70 \times 10^{-3}$	Pulg.							
					$S_{DSD} = 1.61$	Mts							

PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

CARR: Carretera Irapuato-Guadalupe VIANO: Atotonilco-Zapotlanejo

CARRETES:

OPERADOR: Thelma L. Pacheco Callejas I.C.S.A.

Km.	CURVA	MATERIAL	PUNTO	TEMPERATURA		LECTURAS		CALCULO			DE LA DEFLEXION	OBSERVACIONES	
				Superficie	Aire	Interior	Exterior	Deflexion	Deflexion	Deflexion			
200+000	Unleo	Der	Ext			52	40	12	24	576	1.60	Terrapién	
020	"	"	"			73	98	15	30	900	1.40	"	
040	"	"	"			110	98	22	44	1936	1.10	"	
060	"	"	"			70	54	16	32	1024	1.30	"	
080	"	"	"			20	02	18	36	1296	1.30	"	
100	"	"	"			111	94	17	34	1156	1.80	"	
120	"	"	"			38	23	15	30	900	2.00	"	
140	"	"	"			19	02	17	34	1156	2.50	"	
160	"	"	"			76	55	21	42	1764	1.80	"	
180	"	"	"			57	35	18	36	1296	2.00	"	
200	"	"	"			112	99	23	46	2116	1.90	"	
220	"	"	"			65	42	23	46	2116	2.40	"	
240	"	"	"			41	17	24	48	2304	2.50	"	
260	"	"	"			30	05	25	50	2500	1.90	"	
280	"	"	"			27	06	21	42	1764	2.10	"	
300	"	"	"			58	40	18	36	1296	2.50	"	
						n=16							
						$\bar{X}=30.1 \times 10^{-3}$	Pulg.						
						$S=7.5 \times 10^{-3}$	Pulg.						
						$\bar{X}_{SDD}= 1.88$	Mts.						

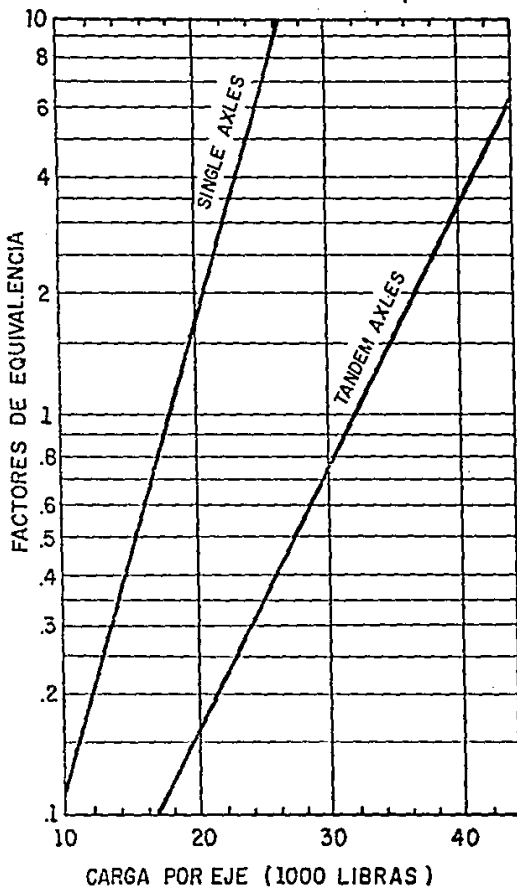
PRUEBA DE DEFLEXION METODO BENKELMAN

CDRA: Carretera Irapuato-Guadalupe TRAMO: Atotonilco-Zapotlanejo

ENSAYES: _____

OPERADOR: Guillermo L. Pacheco Gallegos FECHA: _____

Km.	CUERPO	CARRIL	INDICADO	TEMPERATURA		LECTURAS		C A L C U L O			VALOR DE LA DEFLEXION	OBSERVACIONES
				TEMP. DEL TIEMPO	TEMP. DEL INDICADO	INICIAL	FINAL	DESVIACION	DEFORMACION	VALOR DE LA DEFLEXION		
212+000	Unico	Izq	Ext			81	62	19	38	1444	1.60	Terraplén
211+980	"	"	"			45	24	21	42	1764	2.40	"
960	"	"	"			99	82	17	34	1156	1.40	"
940	"	"	"			37	19	18	36	1296	1.50	"
920	"	"	"			74	59	15	30	900	1.40	"
900	"	"	"			88	65	23	46	2116	1.70	"
880	"	"	"			70	53	17	34	1156	1.30	"
860	"	"	"			28	11	17	34	1156	1.40	"
840	"	"	"			40	25	15	30	900	1.20	"
820	"	"	"			52	39	13	26	676	1.50	"
800	"	"	"			60	48	12	24	576	1.60	"
780	"	"	"			112	93	19	38	1444	1.30	"
760	"	"	"			78	63	15	30	900	1.40	"
740	"	"	"			72	61	11	22	484	1.30	"
720	"	"	"			45	35	10	20	400	1.10	"
700	"	"	"			76	63	13	26	676	1.30	"
				n=16								
				$\bar{X} = 31.9 \times 10^{-3}$	Pulg.							
				$S^2 = 7.24 \times 10^{-3}$	Pulg.							
				$S_{DSD} = 1.46$	Mts.							



GRAFICA INSTITUTO DEL ASFALTO PARA LA DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE EJES.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON
 FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO
 Thelma Lidia Pacheco Gallegos.

INSTITUTO DEL ASFALTO DE E.U.A.

Factor de Equivalencia

LIBRAS	TON	EJE	F. E.
2 205	1.0	S	0.013
3 748	1.7	S	0.021
8 377	3.8	S	0.073
12 125	5.5	S	0.201
22 046	10	S	3.014
15 432	7.0	T	0.082
30 864	14.0	T	0.906
39 682	18.0	T	3.571
49 603	22.5	TT	2.012

F. E. - Factor de Equivalencia

ANALISIS DE TRANSITO

CAMINO IPAPUATO - GUADALAJARATRAMO BETANIA - ZAPOTLANEJO.T D P A 6,353

TIPO DE VEHICULO	DISTRIBUCION DEL TRANSITO		PESO POR EJE		FACTOR DE EQUIVALENCIA A EJES DE 8.2 ton.	EJES EQUIVALENTES DE 8.2 ton.
	%	Nº de vehículos por eje 1000	Nº	TON.		
A 2	34.91	349.1	1	s 1	0.013	4.54
			2	s 1	0.013	4.54
A 2	21.08	210.8	1	s 1.7	0.021	4.43
			2	s 3.8	0.073	15.39
B 2	7.34	73.4	1	s 5.5	0.201	14.75
			2	s 10.0	3.014	16.41
B 3	0.66	6.6	1	s 5.5	0.201	1.32
			2	t 14.0	0.906	5.97
C 2	17.63	176.30	1	s 5.5	0.201	35.43
			2	s 10.0	3.014	531.36
C 3	9.38	93.80	1	s 5.5	0.201	18.85
			2	t 18.0	3.571	334.95
T1 - S1	0.12	1.20	1	s 5.5	0.201	0.241
			2	s 10.0	3.014	3.616
			3	s 10.0	3.014	3.616
T2 - S2	0.12	1.20	1	s 5.5	0.201	0.241
			2	s 10.0	3.014	3.616
			3	t 18.0	3.571	4.285
T3 - S2	5.88	58.80	1	s 5.5	0.201	11.81
			2	s 18.0	3.571	209.97
			3	t 18.0	3.571	209.97
T3 - S3	2.75	27.5	1	s 5.5	0.201	5.527
			2	t 18.0	3.571	98.20
			3	tt 22.5	2.012	55.33
T3-S2-R4	0.12	1.20	1	s 5.5	0.201	0.241
			2	t 18.0	3.571	4.28
			3	t 18.0	3.571	4.28
			4	t 18.0	3.571	4.28
			5	t 18.0	3.571	4.28

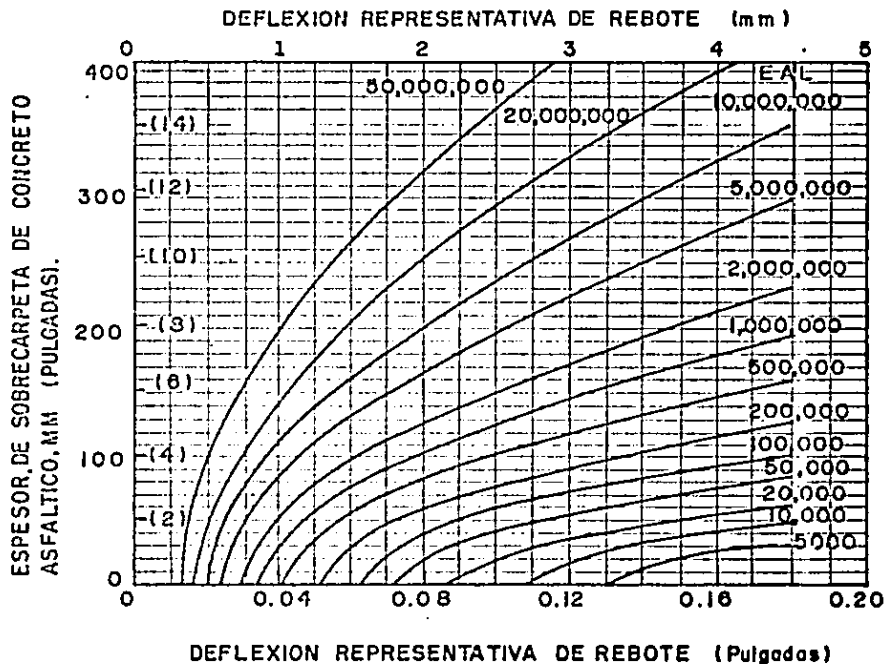
= 1,671.72
Factor = 1.6 / 1 veh.

CLASIFICACION DE VEHICULOS

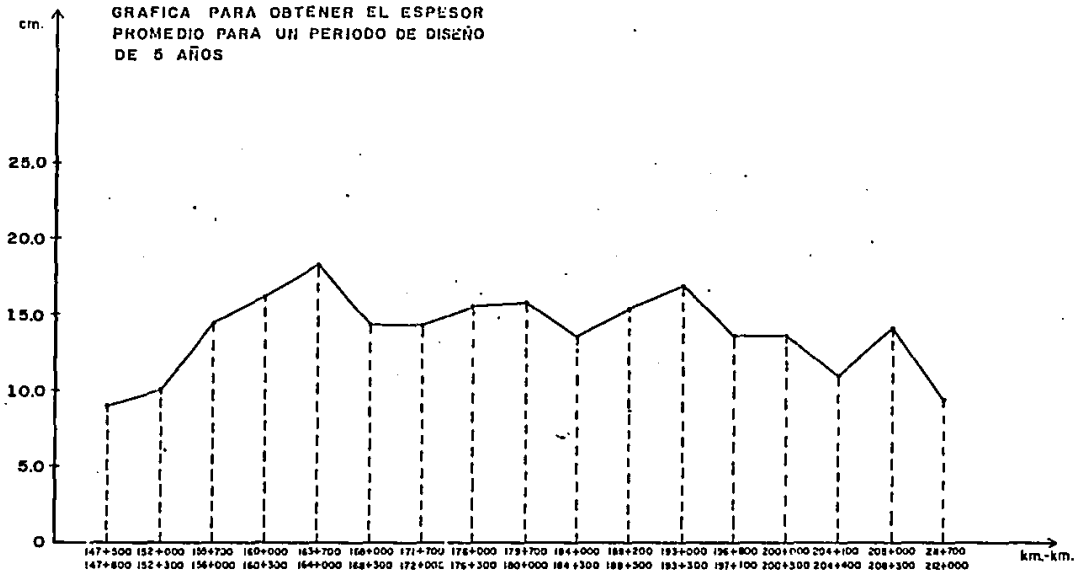
- A2 AUTOMOVIL.
- A12 CAMION LIGERO CON CAP. DE CARGA HASTA 3 TONELADAS.
- B2 AUTOBUS DE 2 EJES.
- G3 AUTOBUS DE 3 EJES.
- C2 CAMION DE 2 EJES.
- C3 CAMION DE 3 EJES.
- T2S1 TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 1 EJE.
- T2S2 TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES.
- T3S2 TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES.
- T3S3 TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 3 EJES.
- T3S2R4 TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y
REMOLQUE DE 4 EJES.

* Ver Anexo 3 Pág.

ESPEJOR DE SOBRE CARPETA ASFALTICA REQUERIDO PARA REDUCIR LA DEFLEXION MEDIDA SOBRE EL PAVIMENTO A UN VALOR DE DISEÑO (INSTITUTO DEL ASFALTO 1981).

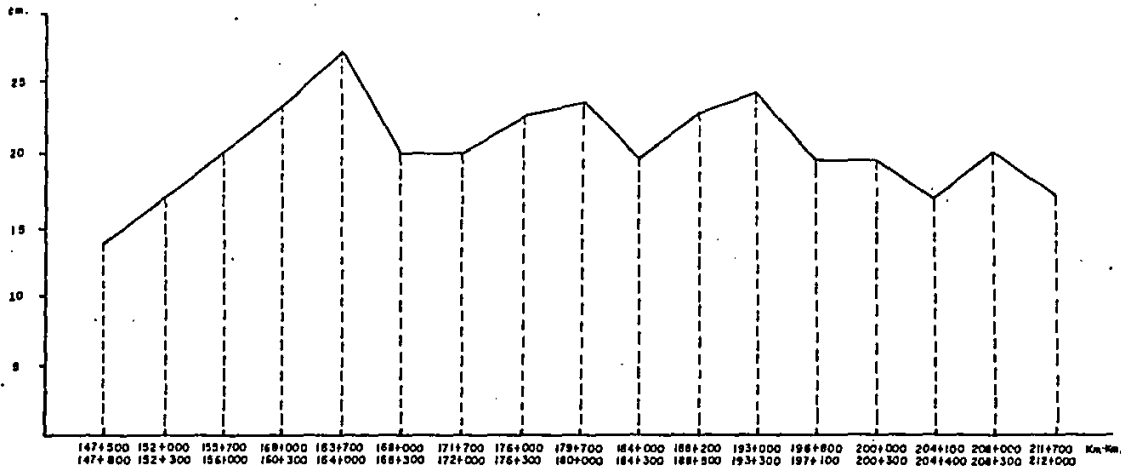


GRAFICA PARA OBTENER EL ESPESOR PROMEDIO PARA UN PERIODO DE DISEÑO DE 5 AÑOS



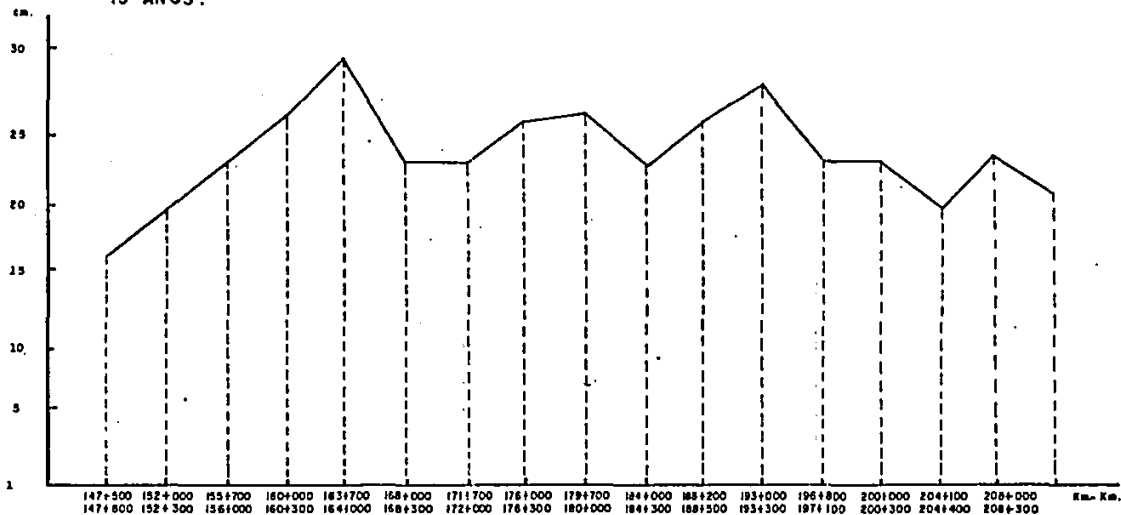
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON
 FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO
 Thema Lilián Pacheco Gallegos.

GRAFICA PARA OBTENER
EL ESPESOR PROMEDIO PARA
UN PERIODO DE DISEÑO DE
10 AÑOS.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON
FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO
Thelma Lilián Pacheco Gallegos.

**GRAFICA PARA OBTENER
EL ESPESOR PROMEDIO PARA
UN PERIODO DE DISEÑO DE
15 AÑOS.**



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 ESTUDIO DE PAVIMENTOS EXISTENTES CON
 FINES DE RECONSTRUCCION O REFUERZO
 Thelma Lilián Pacheco Gallegos.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Esta tesis es representativa de las necesidades que para una óptima construcción de pavimentos en caminos y urbanizaciones, requiere nuestro país; ya que debido al crecimiento demográfico tan acelerado, se hace necesario la construcción de vías de comunicación, al mismo ritmo para integrar una infraestructura con el fin de que los artículos de primera necesidad lleguen de una manera rápida y segura a todos y cada uno de los núcleos de población.

Es recomendable el uso de pavimentos flexibles como superficie de rodamiento en carreteras principalmente (sin que por esto deje de ser propuesto en urbanizaciones), ya que la fabricación y tendido de este concreto asfáltico abate considerablemente los costos de construcción, dado que el avance es mayor comparado con el pavimento de concreto hidráulico, redundando esto en un beneficio económico; además de dar mayor comodidad a los vehículos que sobre él transitan, ya que la tersura de la carpeta evita el alto grado de desgaste de llantas, así como partes mecánicas de los automóviles y camiones. Debe también hacerse notar que el mantenimiento de la carpeta asfáltica es más económico y rápido.

Los pavimentos rígidos son de uso común en urbanizacio

nes construídas a base de concreto hidráulico regularmente armados; teniendo la particularidad de ser costosos, tomando en cuenta que el índice de fatiga en el concreto es elevada aumentando el uso de cemento hidráulico, así como también el acero de refuerzo para el armado de las losas.

Es importante hacer notar que el costo de la mano de obra es más elevado, ya que es necesario contar con personal altamente calificado, ya que de esto depende el buen resultado de la superficie de rodamiento. La ventaja en la construcción de estos pavimentos es principalmente la casi nulidad de mantenimiento, o bien, ocurrir a largo plazo, así como la arquitectura de una urbanización, puesto que las losas pueden adoptar la forma requerida.

Todos los pavimentos, ya sean rígidos o flexibles, están sujetos a presentar fallas, debido a los siguientes motivos: La erosión, falta de mantenimiento, por asolve de cunetas, tránsito mayor al calculado, dilataciones repentinas debido al intemperismo, así como al paso del tiempo por fatiga del material.

Para corregir la superficie de rodamiento, es necesario en ocasiones drásticas, volver a encarpetar el tramo afectado y en condiciones más favorables efectuar un bacheo para volver a circular en el camino.

Con el propósito de que un pavimento rígido trabaje en condiciones favorables, es necesario que las diversas capas que lo integran cumplan con todas las normas y especificaciones constructivas indicadas en su oportunidad por el Laboratorio de Mecánica de Suelos, para así cumplir con los cálculos estructurales de diseño; limitando con esto el mantenimiento a largo plazo, y no resulte antieconómico la construcción de la superficie de rodamiento.

En la actualidad existen varias técnicas para el diseño de refuerzo de un pavimento.

Un punto importante es tomar en cuenta el diseño del drenaje para un buen aprovechamiento del camino; se deben proyectar para que conduzca la creciente básica sin causar grave daño al camino. Sin las instalaciones adecuadas de drenaje, tanto superficiales como sub-superficiales, no duraría el camino, aunque sea muy bueno el pavimento.

En los cortes de drenaje del camino debe dirigirse hacia el interior de las cunetas de poca profundidad, pero lo suficientemente profundas para desaguar la sub-base del pavimento. Por último, el agua se debe guiar al curso de agua o depresión de tierra más cercanos, lo cual la llevará lejos del camino o a través de una atarjea superficial por, abajo del camino hasta una salida.

Las superficies asfálticas con mezcla de camino y mezcla de planta, con una buena capa de base y una sub-rasante bien drenada, requiere poco trabajo de mantenimiento, si el tráfico no sobrepasa la carga de diseño.

Los agujeros, el desmoronamiento (desintegración progresiva desde la superficie hacia abajo, o de los bordes hacia adentro por el desalojamiento de partículas de agregado) y los baches, se deben parchar en sus primeras etapas con una mezcla en frío de composición similar a la de la mezcla original.

El mantenimiento de rutina de un pavimento de concreto de cemento Portland, consiste principalmente en el rellenado de grietas y de juntas de dilatación a menos que se llenen con asfalto caliente tan pronto como sea posible, los bordes empezarán a descomponerse y habrá deterioro progresivo de la superficie contigua a la grieta o junta. Una grieta puede permitir la entrada de agua a la sub-rasante con una pérdida resultante en la capacidad para soportar.

Esta tesis está basada en la aplicación del Método del Instituto del Asfalto de Estados Unidos de América, misma que aplica las deflexiones del pavimento, medidas con viga BENKELMAN y en el tránsito acumulado convertido a ejes equivalentes.

Para el diseño del camino presentado en esta tesis, se tienen los siguientes resultados:

VIDA UTIL (años)	ESPESOR REQUERIDO (cms)
5	13
10	20
15	22

De acuerdo a los recursos económicos con que se cuente se elegirá el período de diseño y así se volverá a contar con una vía de comunicación segura y cómoda.

El resultado del estudio requiere un espesor de 13 cms. de carpeta para 5 años, 20 cms. para 10 años y 22 cms. para 15 años. Pero en base a estudios económicos y una solución a corto plazo, se va a poner una sobrecarpeta de 7 cm. para los primeros 5 años; luego se va a tender otra de 7 cm. en los siguientes 5 años y finalmente, una de 8 cms., para así poder seguir utilizando esta vía y tenga un nivel de servicio y una superficie de rodamiento dentro de los niveles de seguridad, rapidez y comodidad que se requieren.

BIBLIOGRAFIA

INSTRUCTIVOS DEL MANUAL DEL INSTITUTO DEL ASFALTO
SOBRE CARPETAS.

PRINCIPIOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.
YODER E. J.

LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
VOLUMEN II. LIMUSA.

MECANICA DE SUELOS.
E. JUAREZ BADILLO Y ALFONSO RICO RODRIGUEZ.
VOLUMEN I. LIMUSA.

NORMAS DE CONSTRUCCION.
NORMAS DE MATERIALES VIII.
PRIMERA EDICION. MEXICO 1981. S.C.T.

ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES.
FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE.
EDIT. CECSA.

CRITERIOS DE SELECCION ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y
FLEXIBLES.

RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ.
CENTRO DE DOCUMENTACION TECNICA. S.C.T.

REFERENCIAS

- REF. 1 JUAREZ BADILLO - RICO RODRIGUEZ.
TOMO I.
FUNDAMENTOS DE LA MECANICA DE SUELOS.
CAPITULO VIII. ED. LIMUSA. S.A.
MEXICO. 1984.
- REF. 2 ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
VOL. 2. CAP. 10. ED. LIMUSA. S.A.
MEXICO. 1982.
- REF. 3 ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
VOL. 2. CAP. IX. ED. LIMUSA. S.A.
MEXICO. 1982.
- REF. 4 ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
VOL. 2. CAP. IX. ED. LIMUSA. S.A.
MEXICO. 1982.
- REF. 5 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 18.

- REF. 6 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 18.
- REF. 7 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 18.
- REF. 8 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 18.
- REF. 9 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 10
- REF. 10 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 10.
- REF. 11 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 10.
- REF. 12 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 10.
- REF. 13 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 10.
- REF. 14 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 10.

- REF. 15 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 10.
- REF. 16 YODER E.J. PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN.
CAP. 10.
- REF. 17 ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
VOL. 2. CAP. IX. ED. LIMUSA. S.A.
MEXICO. 1982.
- REF. 18 ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
VOL. 2. CAP. IX. ED. LINUSA. S.A.
MEXICO. 1982.
- REF. 19 ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO.
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES.
VOL. 2. CAP. IX. ED. LINUSA. S.A.
MEXICO. 1982.
- REF. 20 DATOS PROPORCIONADOS POR LA S.C.T. PARA EVALUA-
CIONES DE PAVIMENTOS CON EL PROCEDIMIENTO DEL
INSTITUTO DEL ASFALTO, TOMADO DE UNA PUBLICACION
DEL TRB.

- REF. 21 DATOS PROPORCIONADOS POR LA S.C.T.
PARA EVALUACIONES DE PAVIMENTOS CON EL PROCEDIMIENTO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO.
TOMADO DE UNA PUBLICACION DEL TRB.
- REF. 22 DATOS PROPORCIONADOS POR LA S.C.T.
PARA EVALUACIONES DE PAVIMENTOS CON EL PROCEDIMIENTO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO.
TOMADO DE UNA PUBLICACION DEL TRB.

ANEXOS

ANEXO 1

CEMENTOS ASFALTICOS.

CARACTERISTICAS	CEMENTO ASFALTICO			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100 g., 5n, 25°C, grados.	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furui:				
A 136 ° C, s, mínimo.	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), ° C mínimo.	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, ° C.	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25 ° C, cm, mínimo.	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm ³ , 5 h, 163° C:				
Penetración retenida, por ciento mínimo.	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo.	1.4	1.0	0.8	0.8

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RAPIDO.

CARACTERISTICAS.	G R A D O				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO.					
Punto de Inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo.			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25° C, segundos.	75-150				
A 50° C, segundos.		75-150			
A 60° C, segundos.			100-200	250-500	
A 82° C, segundos.					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360° C.					
Hasta 190° C, mínimo.	15	10			
Hasta 225° C, mínimo.	55	50	40	25	8
Hasta 260° C, mínimo.	75	70	65	55	40
Hasta 315° C, mínimo.	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360° C. Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo.	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION.					
Penetración, gradon.	80-120	80-120	80-120	30-120	80-120
Ductilidad en centímetros, mínimo.	100	100	100	100	100
Salubridad en tetracloruro de carbono, por ciento, mín..	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO.

CARACTERISTICAS.	G R A D O				
	FH-0	FH-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO.					
Punto de Inflrección (cava abierta de Top), °C mínimo. . .	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Fureol:					
A 25° C, segundos.	75-150				
A 50° C, segundos.		75-150			
A 60° C, segundos.			100-200	250-500	
A 82° C, segundos.					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 300° C.					
Hasta 225° C, máximo.	25	20	10	5	0
Hasta 260° C.	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Max.
Hasta 315° C.	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 300°C, por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.					
	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo.					
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION.					
Penetración, grados.					
	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros, mínimo.					
	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo					
	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO.

C A R A C T E R I S T I C A S .	G R A D O				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO.					
Punto de inflexión (capa abierta de Cleveland), ° C mínimo.	66	66	80	93	107
Viscosidad Saybolt-Furrol:					
A 25° C, segundos.	75-150				
A 50° C, segundos.		75-150			
A 60° C, segundos.			100-200	250-500	
A 82° C, segundos.					125-250
Destilación: Destilado total a 300° C, por ciento en volumen.	15-40	10-30	5-25	2-15	10 Max.
Agua por destilación, por ciento, máximo.	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, por ciento mínimo.	40	50	60	70	75
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION.					
Flotación en el residuo de la destilación a 25° C, segundos.	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25° C, cd., mínimo.	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS.

CARACTERISTICAS.	G		A	O	
	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMP. MEDIO	ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO.					
Viscosidad Saybolt-Furol a 25° C, segundos.	200-100		100 Min.	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol a 50° C, segundos.		75-400			
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo. . .	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo.	3	3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl ₂ por ciento, mínimo.	60	50			
50 ml de 0.10N CaCl ₂ por ciento, mínimo.			30		
Retenido en la malla N°20, por ciento, máximo.	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo. . .				2.0	2.0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION.					
Penetración, 25° C, 100 g, 5 segundos, grados.	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25° C, cm., mínimo.	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento (30%) al bajar a su temperatura de veinte grados Celsius (20°C) a diez grados Celsius (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados Celsius (20° C) a cuarenta grados Celsius (40° C).

EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS.

C A R A C T E R I S T I C A S	G R A D O					
	ROMPIMIENTO RAPIDO.		ROMPIMIENTO MEDIO		ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO.						
Viscosidad Saybolt-Furol, 25° C, segundos . . .	20-100	100-400	50-500	50-500	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol, 50° C, segundos . . .						
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento máximo	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla (N.º 20), por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Quemado del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento mínimo			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo					2	2
Carga de la partícula	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
pH, máximo					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento, máximo	3	3	20	12		
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION.						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados . .	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	97	97	97	97	97	97
Dureza, 25° C, en, mínimo	40	40	40	40	40	40

ANEXO 2

PRUEBA DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE.

Esta prueba fue originalmente desarrollada por el Departamento de Carreteras de California; actualmente es de uso muy extendido y el método de diseño en ella fundado sirve para proporcionar más de todos los pavimentos que se construyen actualmente en el mundo.

El V.R.S. (Valor Relativo de Soporte) se obtiene de una prueba de penetración, en la que un vástago de 19.4 cm² (3 plg²) de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0.127 cm/min. (0.05 plg/min); se mide la carga aplicada para penetraciones que varían en 0.25 cm (0.1 plg.). El valor relativo de soporte del suelo se define como la relación, expresada como a porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm (0.1 plg.) y la presión requerida para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón que es una piedra triturada en la que se producen las presiones en el vástago que se anotan en la tabla siguiente:

PRESIONES PARA DISTINTAS PENETRACIONES DEL
VASTAGO EN EL MATERIAL PATRON PUREBA V.R.S.

Cms.	Penetración	Presión en vástago	
	Plg.	Kg/cm ²	Lb/plg ²
0.25	0.1	70	1,000
0.50	0.2	105	1,500
0.75	0.3	133	1,900
1.00	0.4	161	2,300
1.25	0.5	182	2,600

El equipo usado en la penetración y ensayo de especímenes remoldeados es como sigue:

- 1.- Molde cilíndrico de 15.2 cm (6") de diámetro y altura de 17.8 cm. (7"), equipado con un collarín de extensión de 5.1 cm (2") de altura y una placa de base perforada. La placa de base y el collarín se pueden fijar en ambos extremos del cilindro. Cuando se tiene un grupo de moldes es aconsejable tener una placa de base adicional pues se requieren dos placas en el momento de invertir el molde durante la preparación del espécimen.
- 2.- Un disco separador de 15 cm (5 15/16") de diámetro y 6.3 cm (2.5") de altura, para insertarlo como fondo falso en el molde cilíndrico durante la compactación.
- 3.- Un compactador semejante al utilizado en la prueba de compactación AASHO modificada (4.54 Kg. (10 Lbs.) de peso y 5.1 cm (2") de diámetro en la superficie de golpeo).
- 4.- Vástago ajustable y placa perforada, trípode y micrómetro con aproximación al 0.0025 de centímetro (0.001") para medir la expansión del suelo.
- 5.- Un anillo con peso de 2.27 Kg. (5 Lbs) y varias pesas de un diseño especial de 2.27 Kg. (5 Lbs) de peso cada una, adecuadas para ser aplicadas como sobrecarga en la superficie del suelo durante el proceso de saturación y penetración.
- 6.- Pistón de penetración de 4.9 cm (1.92") de diámetro y aproximadamente 10 cm (4") de longitud.
- 7.- Máquina de prueba o gato de tornillo con su marco especial que

pueden usarse cualquiera de las dos para introducir el pistón en el espécimen con una velocidad de 0.127 cm/min. (0.05 plg/min).

- 8.- Equipo general de laboratorio como charolas para mezclado, espátulas, envasadores, balanzas, tanque de saturación, cápsulas para de terminación de contenido de agua, horno, etc.

PREPARACION DE PROBETAS REMOLDEADAS.

El procedimiento es tal, que los valores del VRS se obtienen a partir de especímenes de prueba que posean el mismo peso específico y contenido de agua que se espera encontrar en el campo. Por lo general, para la mayoría de los materiales, la condición crítica del prototipo es cuando ha absorbido la cantidad máxima de agua. Por este motivo y con el fin de obtener un resultado conservador, el diseño de VRS adoptado por el Cuerpo de Ingenieros de los E.U.A., es el VRS obtenido después de que los especímenes han sido sumergidos en agua un periodo de 4 días, durante este tiempo se confinan en el molde por medio de una sobrecarga igual al peso del pavimento que actuará sobre el material. El procedimiento que se da a continuación se ha formulado como resultado de los estudios hechos y debería seguirse por lo general:

- 1.- Se seca la muestra hasta que se pueda desmoronar. El secado deberá hacerse al aire libre o bien empleando el horno, siempre y cuando la temperatura de la muestra no exceda de 60 ° C, enseguida se rompen los grumos, teniendo cuidado de no triturar las partículas. Se quita el material cuyo tamaño es mayor de 1.9 cm (3/4") reemplazandolo por una cantidad igual de material cuyos tamaños estan comprendidos entre las mallas No. 4 y de 3/4 de pulgada mezclando --

completamente la muestra.

- 2.- El método de compactación usado, es en general, una prueba dinámica tipo Proctor.

Las modificaciones hechas por el Cuerpo de Ingenieros incluyen cambios en el peso del pistón compactador de 2.5 Kg. (5.5 Lbs) a 4.54 Kg. (10 Lbs), altura de caída del compactador de 45.8 cm (18") en lugar de 30.5 cm (12"), compactación de las probetas en el molde en cinco capas iguales ligeramente menores de 2.54 cm (1") cada una, en lugar de tres capas iguales; se dan 55 golpes por capa, usándose agregados hasta 1.9 cm (3/4") de tamaño. Todo material mayor de ese tamaño, es separado y reemplazado por una cantidad -- igual de material comprendido entre las mallas No. 4 y 3/4 de Plg. Ningún material se vuelve a utilizar, el molde se coloca sobre un piso o pedestal de concreto durante la compactación.

Se compacta un número suficiente de especímenes con variación en su contenido de humedad con el fin de establecer definitivamente el contenido de agua óptimo y el peso volumétrico máximo. Si las características de compactación de material son perfectamente conocidas, será suficiente compactar cuatro o cinco especímenes con contenidos de agua dentro de un intervalo de mas o menos dos por ciento de contenido de agua óptimo. Dichos especímenes se preparan con diferentes energías de compactación de manera que normalmente se usan la Energía Proctor Estándar, la Proctor modificada y una energía aún inferior a la Proctor Estándar.

Se tienen así especímenes, que con contenidos de agua diferentes alcanzan distintos pesos volumétricos secos, con lo que se puede estudiar suficientemente la variación del VRS con estos dos --

factores que son los que lo afectan principalmente. La altura de caída de compactador deberá controlarse cuidadosamente, así como distribuir los golpes uniformemente sobre el espécimen.

Los resultados obtenidos de humedad contra peso volumétrico trazan una curva que pase por los puntos obtenidos.

- 3.- El molde con la extensión de collarín se fija a la placa de base, insertándose un disco separador sobre dicha placa. En la parte superior del disco se coloca un papel filtro grueso o una malla de alambre fina.
- 4.- Las muestras deberán compactarse para la prueba de VRS utilizando el mismo procedimiento descrito en el inciso 2 de esta sección. Después de compactar la muestra, se quita el collarín, cortando el espécimen, se coloca sobre la superficie superior una maya o un papel filtro grueso y una placa de base perforada, se fija a la parte superior del molde, se invierte el molde quitándose la placa de base que se encontraba en el fondo, así como el separador, determinándose el peso volumétrico.
- 5.- Se coloca el vástago ajustable a la placa sobre la superficie del molde, aplicando una pesa en forma de anillo, con el fin de producir una intensidad de carga igual al peso de material del pavimento con 2.27 Kg (5 Lbs) de más o menos, pero en ningún caso el peso será menor de 4.54 Kg (10 Lbs). Sumérgase el molde con las pesas en agua, para permitir el libre acceso de agua por arriba y por abajo del espécimen, tomando medidas iniciales para determinar la expansión y dejando que se humedezca durante 4 días, se puede permitir un período menor de inmersión para suelos permeables, si es aparente que se ha conseguido el contenido de agua máximo.

Al final se toman medidas de expansión, calculándose ésta como un porcentaje de la altura del espécimen.

- 6.- Quítese el agua superficial y permítase el drenado del espécimen durante 15 min. Se debe tener cuidado de no alterar la superficie del espécimen durante la remoción del agua libre para lo cual es necesario inclinar los especímenes. Se retiran la placa perforada como los pesos de sobrecarga y se pesa el espécimen.

ANEXO 3



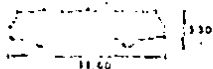
B2 Automóvil

Cargos	Peso, en ton			S ₀ (cm ²)	d ₁ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d ₂ = Coeficiente de daño vacío			
	Carga máxima	Válido	S ₁ (cm ²)		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
					z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1	1,0	0,4	2,0	0,007	0,000	0,000	0,000	0,002	0,006	0,009	0,004	
2	1,0	0,8	2,0	0,007	0,000	0,006	0,000	0,007	0,006	0,000	0,000	
3	2,0	1,6	2,0	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	



B2 Camión ligero, con capacidad de carga hasta de 3 ton

Cargos	Peso, en ton			S ₀ (cm ²)	d ₁ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d ₂ = Coeficiente de daño vacío			
	Carga máxima	Válido	S ₁ (cm ²)		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
					z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1	1,7	1,1	4,4	0,011	0,013	0,000	0,000	0,024	0,001	0,000	0,000	
2	3,4	2,2	4,4	0,018	0,001	0,023	0,015	0,024	0,001	0,040	0,014	
3	5,1	3,5	4,4	0,016	0,004	0,023	0,025	0,036	0,002	0,040	0,006	

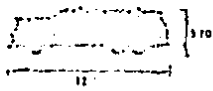


B2 Autobús de dos ejes

Cargos	Peso, en ton			S ₀ (cm ²)	d ₁ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d ₂ = Coeficiente de daño vacío			
	Carga máxima	Válido	S ₁ (cm ²)		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
					z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1	5,5	3,4	5,8	1,000	0,364	0,167	0,118	1,000	0,079	0,001	0,000	
2	11,0	7,0	5,8	1,000	1,541	2,240	2,426	1,000	0,179	0,501	0,431	
3	16,5	10,3	5,8	2,000	1,070	2,447	2,934	2,000	0,257	0,502	0,443	
4	5,0	3,5	5,8	1,000	0,241	0,106	0,071	1,000	0,079	0,001	0,000	
5	9,0	6,7	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,544	0,344	0,292	
6	14,0	10,0	5,8	2,000	1,445	1,589	1,701	2,000	0,637	0,310	0,307	
7	5,0	3,0	5,8	1,000	1,124	0,002	0,021	1,000	0,044	0,019	0,004	
8	9,0	6,0	5,8	1,000	0,444	0,400	0,420	1,000	0,444	0,244	0,140	
9	12,0	8,0	5,8	2,000	1,310	0,402	0,044	2,000	0,412	0,210	0,100	

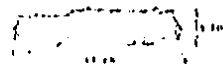
Figuras mínimas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Camión de la Ley de Vías Generales de Comunicación, MCT", IMAICO, D.F., 1978.

- *EJE SENCILLO
- *EJE TANDEM
- *EJE TRIPLE



D-3 Autobús de tres ejes

Conjunto	Dist. en km		P. kg/ax ²	K _{cm} Coeficiente de carga máxima				K _v Coeficiente de carga vacía			
	Carga máxima	Vacío		± 0	± 15	± 30	± 60	± 0	± 15	± 30	± 60
	1 ^a	5,0		4,0	5,0	0,666	0,700	0,755	0,714	0,666	0,107
2 ^a	10,0	8,0	5,0	1,333	1,400	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
3 ^a	15,0	12,0		1,999	1,367	0,877	0,757	1,999	0,321	0,033	0,054
4 ^a	5,0	4,0	5,0	0,666	0,216	0,093	0,070	0,666	0,107	0,034	0,021
5 ^a	10,0	7,5	5,0	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,177	0,067	0,036
6 ^a	15,0	11,5		1,999	1,295	0,071	0,065	1,999	0,274	0,041	0,067
7 ^a	5,0	3,5	5,0	0,666	0,167	0,034	0,021	0,666	0,068	0,030	0,016
8 ^a	10,0	7,5	5,0	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,177	0,067	0,036
9 ^a	10,0	11,0		1,999	1,190	0,754	0,756	1,999	0,290	0,060	0,036

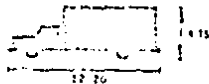


D-4 Autobús de cuatro ejes

Conjunto	Dist. en km		P. kg/ax ²	K _{cm} Coeficiente de carga máxima				K _v Coeficiente de carga vacía			
	Carga máxima	Vacío		± 0	± 15	± 30	± 60	± 0	± 15	± 30	± 60
	1 ^a	2,0		2,0	5,0	1,333	0,333	0,030	0,010	1,333	0,030
2 ^a	10,0	8,0	5,0	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
3 ^a	15,0	13,0		1,999	1,249	0,767	0,757	1,999	0,252	0,061	0,040
4 ^a	2,0	2,0	5,0	1,333	0,333	0,030	0,010	1,333	0,030	0,001	0,001
5 ^a	10,0	8,0	5,0	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
6 ^a	15,0	13,0		1,999	1,249	0,767	0,757	1,999	0,252	0,061	0,040
7 ^a	2,0	2,0	5,0	1,333	0,333	0,030	0,010	1,333	0,030	0,001	0,001
8 ^a	10,0	8,0	5,0	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
9 ^a	15,0	13,0		1,999	1,249	0,767	0,757	1,999	0,252	0,061	0,040

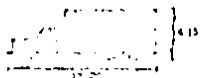
El signo más (+) se refiere con el "Proyecto de Actuación Técnica del Empleado" y el signo menos (-) al "Proyecto de Actuación de la Ley de Vida Laboral de los Empleados", D. O. J. 1978.

*** 11.11.1111
 *** 11.11.1111
 *** 11.11.1111



C2 Camión de dos ejes

Carga	Presentes			P ₀ (cm ²)	+ d ₁ * Coeficiente de daño cargo real				d ₂ * Coeficiente de daño vacío			
	Eje	Carga (kg)	Dist. (cm)		± 0	± 15	± 30	± 60	± 0	± 15	± 30	± 60
					1	2	3	4	1	2	3	4
1	1 ^a	3,5	3,5	5,0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,077	0,029	0,010
	2 ^a	3,5	3,5	5,0	1,000	1,541	2,276	2,825	1,000	0,044	0,009	0,004
	3	3,5	3,5	5,0	2,220	1,493	2,457	2,939	2,000	0,123	0,028	0,014
2	1 ^a	5,0	3,0	5,0	1,000	0,263	0,106	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004
	2 ^a	5,0	3,0	5,0	1,000	1,236	1,443	1,610	1,000	0,044	0,009	0,004
	3	5,0	3,0	5,0	2,000	1,495	1,589	1,761	2,000	0,044	0,018	0,008
3	1 ^a	5,0	2,5	5,0	1,000	0,126	0,036	0,021	1,000	0,022	0,004	0,002
	2 ^a	5,0	2,5	5,0	1,000	0,684	0,460	0,420	1,000	0,022	0,003	0,002
	3	5,0	2,5	5,0	2,000	1,670	0,936	0,899	2,000	0,044	0,006	0,004



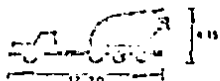
C3 Camión de tres ejes

Carga	Presentes			P ₀ (cm ²)	+ d ₁ * Coeficiente de daño cargo real				d ₂ * Coeficiente de daño vacío			
	Eje	Carga (kg)	Dist. (cm)		± 0	± 15	± 30	± 60	± 0	± 15	± 30	± 60
					1	2	3	4	1	2	3	4
1	1 ^a	5,5	4,0	5,0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,016	0,021
	2 ^a	5,0	4,5	5,0	2,000	2,460	2,240	2,421	2,000	0,020	0,003	0,002
	3	5,5	4,5	5,0	3,000	2,617	2,457	2,446	3,000	0,154	0,019	0,023
2	1 ^a	5,0	3,0	5,0	1,000	0,263	0,106	0,071	1,000	0,106	0,028	0,016
	2 ^a	5,0	3,0	5,0	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,021	0,002	0,001
	3	5,0	3,0	5,0	3,000	1,076	1,176	1,160	3,000	0,122	0,030	0,017
3	1 ^a	5,0	2,5	5,0	0,666	0,107	0,034	0,021	0,666	0,068	0,010	0,010
	2 ^a	5,0	2,5	5,0	1,333	1,003	0,727	0,735	1,333	0,015	0,002	0,001
	3	5,0	2,5	5,0	1,995	1,190	0,756	0,756	1,995	0,083	0,020	0,011

* Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Fomento y Protección de Camión de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D.F., 1978.

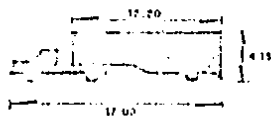
*EJE SENCILLO
 **EJE TANDEM
 ***EJE TRIPLE

Coeficientes de daño



C-2 Camión de cuatro ejes

Carga	Peso en ton			p, kg/m ³	4 C _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _p = Coeficiente de daño vacío			
	Cargos m ³	Vacio	S, B		z: 0	z: 15	z: 30	z: 60	z: 0	z: 15	z: 30	z: 60
					1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
1 ^a	5,5	4,5	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,167	0,064	0,040	
2 ^a	27,5	4,0	5,8	3,000	2,472	2,289	2,818	3,000	0,064	0,020	0,031	
T	26,6	12,5			4,000	2,771	2,456	2,937	4,000	0,271	0,084	0,051



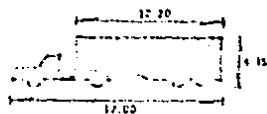
T2-S1 Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje

Carga	Peso en ton			p, kg/m ³	4 C _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _p = Coeficiente de daño vacío			
	Cargos m ³	Vacio	S, B		z: 0	z: 15	z: 30	z: 60	z: 0	z: 15	z: 30	z: 60
					1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
1 ^a	5,5	3,2	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,057	0,012	0,006	
2 ^a	12,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,870	1,000	0,071	0,016	0,009	
3 ^a	16,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,870	1,000	0,071	0,016	0,009	
T	29,5	10,0			3,000	3,431	4,747	5,739	3,000	0,154	0,044	0,024
1 ^a	5,0	3,0	5,8	1,000	0,261	0,104	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004	
2 ^a	9,0	3,4	5,0	1,000	1,234	1,403	1,636	1,000	0,044	0,007	0,004	
3 ^a	12,0	3,4	5,8	1,000	1,234	1,403	1,636	1,000	0,044	0,007	0,004	
T	24,0	9,8			3,000	2,729	3,072	3,331	3,000	0,132	0,027	0,012

40. Los máximos de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D.F., 1978.

AEJE SEMIILLO
AEJE TANDEM
AAEJE TRIPLE

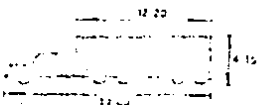
Coeficientes de daño



72-02

Tractor de dos ejes con
semirremolque de dos ejes

Cargado	Peso, en ton		ρ , kg/cm ²	d_m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío			
	Tractor	Remolque		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 ^o	5.5		4.0	5.0	1.000	0.345	0.167	0.119	1.000	0.126
2 ^o	10.0	3.5	5.0	1.000	1.541	2.290	2.823	1.000	0.073	0.015	0.010
3 ^o	15.0	3.0	5.0	2.000	2.468	2.290	2.823	2.000	0.017	0.002	0.001
4 ^o	20.0	2.5	5.0	4.000	4.358	4.247	5.760	4.000	0.222	0.057	0.037
5 ^o	25.0	2.0	5.0	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.071	0.016	0.009
6 ^o	30.0	1.5	5.0	1.000	1.274	1.483	1.630	1.000	0.071	0.016	0.009
7 ^o	35.0	1.0	5.0	2.000	1.615	1.072	1.009	2.000	0.012	0.001	0.001
8 ^o	40.0	0.5	5.0	4.000	3.110	2.661	2.740	4.000	0.154	0.033	0.019



73-02

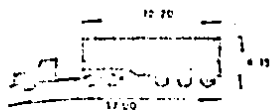
Tractor de tres ejes con
semirremolque de dos ejes

Cargado	Peso, en ton		ρ , kg/cm ²	d_m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío			
	Tractor	Remolque		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 ^o	5.5		4.0	5.0	1.000	0.345	0.167	0.119	1.000	0.126
2 ^o	10.0	3.5	5.0	2.000	2.468	2.290	2.823	2.000	0.017	0.002	0.001
3 ^o	15.0	3.0	5.0	2.000	2.468	2.290	2.823	2.000	0.017	0.002	0.001
4 ^o	20.0	2.5	5.0	4.000	4.358	4.247	5.760	4.000	0.160	0.040	0.023
5 ^o	25.0	2.0	5.0	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.073	0.016	0.010
6 ^o	30.0	1.5	5.0	2.000	1.615	1.072	1.009	2.000	0.012	0.002	0.001
7 ^o	35.0	1.0	5.0	2.000	1.615	1.072	1.009	2.000	0.012	0.002	0.001
8 ^o	40.0	0.5	5.0	4.000	3.491	2.250	2.249	5.000	0.113	0.023	0.012

*Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Camiones de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D.F., 1978.

*EJE SENCILLO
*EJE TANDEN
*EJE TRIPLE

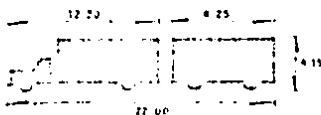
Coeficientes de daño



T3-53

Tractor de tres ejes con
semirremolque de tres ejes

Carjunta	Peso, en toneladas		P. kg/cm ²	4 d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d ₀ = Coeficiente de daño vacío				
	Carga máxima	Vacio		P. kg/cm ²	P. 10	P. 15	P. 30	P. 60	P. 10	P. 15	P. 30	P. 60
1	5,5	5,5	5,8	1,000	0,149	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
2	10,0	5,0	5,7	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,037	0,002	0,001	
3	10,0	7,0	5,8	2,000	2,472	2,289	2,818	2,000	0,011	0,002	0,001	
4	15,0	11,0		3,000	5,219	4,746	5,758	3,000	0,156	0,040	0,023	



C2-R2

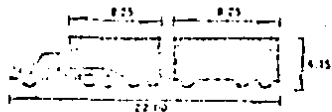
Camión de dos ejes con
remolque de dos ejes

Carjunta	Peso, en toneladas		P. kg/cm ²	4 d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d ₀ = Coeficiente de daño vacío				
	Carga máxima	Vacio		P. kg/cm ²	P. 10	P. 15	P. 30	P. 60	P. 10	P. 15	P. 30	P. 60
1	5,5	3,5	5,8	1,000	0,149	0,167	0,119	1,000	0,074	0,014	0,010	
2	10,0	3,0	5,8	2,000	3,441	2,290	2,820	1,000	0,044	0,005	0,004	
3	10,0	7,0	5,8	2,000	3,441	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000	
4	15,0	11,0		3,000	5,511	2,290	2,820	1,000	0,007	0,001	0,000	
5	15,5	11,5		3,000	4,972	2,017	2,574	3,000	0,143	0,010	0,014	

Corras y ejes de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SGP", Mxico, D F, 1978.

- *EJE SENCILLO
- *EJE TANDEN
- *EJE TRIPLE

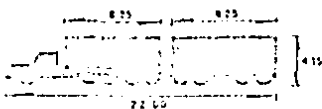
Coeficientes de daño



T3-S2-R3

Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de tres ejes

Cargando	Presión en los			4 d_m = Coeficiente de daño top carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío				
	eje	máximo	Vacio	P, kg/cm ²	T=0	T=15	T=30	T=60	T=0	T=15	T=30	T=60
1 ^a	3.5	4.0	5.0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
2 ^a	18.0	4.0	5.0	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,017	0,007	0,001	
3 ^a	18.0	3.5	5.0	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,009	0,001	0,000	
4 ^a	10.0	2.3	5.0	1,000	1,541	2,290	2,021	2,000	0,035	0,007	0,001	
5 ^a	18.0	3.2	5.0	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,006	0,001	0,000	
T	64.5	17.0		6,000	9,244	7,377	11,401	6,000	0,173	0,042	0,023	



T3-S2-R4

Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes

Cargando	Presión en los			4 d_m = Coeficiente de daño top carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío				
	eje	máximo	Vacio	P, kg/cm ²	T=0	T=15	T=30	T=60	T=0	T=15	T=30	T=60
1 ^a	3.5	4.0	5.0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
2 ^a	18.0	4.0	5.0	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,017	0,007	0,001	
3 ^a	18.0	3.5	5.0	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,009	0,001	0,000	
4 ^a	18.0	3.5	5.0	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,007	0,001	0,000	
5 ^a	18.0	3.2	5.0	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,006	0,001	0,000	
T	77.5	18.0		6,000	10,221	7,377	11,403	6,000	0,163	0,041	0,022	

4. Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, ICF", México, D.F., 1978.

- ▲EJE SENCILLO
- ▲▲EJE TANDEM
- ▲▲▲EJE TRIPLE